

**PERBANDINGAN OPTIMASI BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KELOR
(*Moringa oleifera* L.) MENGGUNAKAN METODE *RESPONSE SURFACE*
METHODOLOGY (RSM) DAN ALGORITMA *PARTICLE SWARM*
OPTIMIZATION (PSO)**



Skripsi

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar
Sarjana Sains Kimia Jurusan Kimia
pada Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Alauddin Makassar

Oleh:

KARTIKA FATIMAH

NIM: 60500117037

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI ALAUDDIN MAKASSAR**

2021

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Mahasiswa yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Kartika Fatimah
NIM : 60500117037
Tempat/ Tgl. Lahir : Ujung Pandang, 06 Februari 1999
Jurusan/Prodi/Konsentrasi : Kimia
Alamat : Jalan Dg. Tata Kompleks Hartaco Indah Blok 5B No.28
Judul : Perbandingan Optimasi Biodiesel dari Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.) menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM) dan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Menyatakan dengan sesungguhnya dan penuh kesadaran bahwa skripsi ini benar adalah hasil karya sendiri. Jika kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan duplikat, tiruan, plagiat, atau dibuat oleh orang lain, sebagian atau seluruhnya, maka skripsi dan gelar yang diperoleh karenanya batal demi hukum.

Samata-Gowa, April 2021

Penyusun



Kartika Fatimah
NIM : 60500117037

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi yang berjudul “Perbandingan Optimasi Biodiesel dari Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.) menggunakan Metode *Response Surface Methodolgy* (RSM) dan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)” yang disusun oleh Kartika Fatimah, NIM: 60500117037, mahasiswa jurusan Kimia pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin Makassar, telah diuji dan dipertahankan dalam sidang munaqassyah yang diselenggarakan pada hari Kamis, 15 Juli 2021 bertepatan dengan 5 Zulhijjah 1442 H, dinyatakan telah dapat diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dalam Ilmu Kimia.

Samata-Gowa, Kamis, 15 Juli 2021 M
5 Zulhijjah 1442 H

DEWAN PENGUJI

Ketua : Sjamsiah, S.Si., M.Si., Ph.D.

Sekretaris : Dr. Rismawaty Sikanna, S.Si., M.Si.

Munaqys 1 : Asriani Ilyas, S.Si., M.Si.

Munaqys 2 : Dr. Hj. Rahmi Damis, M.Ag.

Pembimbing 1 : Aisyah, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2 : Ummi Zahra, S.Si., M.Si.

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Diketahui Oleh:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Alauddin Makassar



Prof. Dr. Muhammad Halifah Mustami, M.Pd.
NIP. 19710412 200003 1 001

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirobbil ‘alamin penulis panjatkan kehadiran Allah subhanahu wa ta’ala karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan judul **Perbandingan Optimasi Biodiesel dari Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.) menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM) dan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)**. Shalawat dan salam semoga tetap terlimpah kepada Nabi besar Muhammad saw. yang merupakan suri tauladan bagi ummat manusia.

Selama proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai hambatan dan tantangan akan tetapi semuanya dapat dilalui karena adanya dukungan, motivasi serta do’a dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih yang sangat besar dan tulus penulis berikan kepada:

1. Prof. Drs. Hamdan Juhannis, M.A, Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
2. Prof. Dr. Muhammad Halifah Mustami, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
3. Bapak Dr. H. Asri Saleh, S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
4. Ibu Dr. Rismawaty Sikanna, S.Si., M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
5. Ibu Aisyah, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I serta PA yang tak hentinya memberi arahan dan semangat selama penyusunan skripsi ini.

6. Ibu Ummi Zahra, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu meluangkan waktu dalam memberikan arahan serta semangat selama penyusunan skripsi ini.
7. Ibu Asriani Ilyas, S.Si., M.Si. selaku penguji I yang senantiasa memberi masukan dan kritik dalam melengkapi skripsi ini.
8. Ibu Dr. Hj. Rahmi Damis, M.Ag selaku penguji II yang senantiasa memberi masukan dan kritik dalam melengkapi skripsi ini.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi atas segala ilmu yang telah diberikan selama menempuh pendidikan.
10. Laboran Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi yang senantiasa memberikan bimbingan selama menempuh pendidikan.
11. Kedua Orangtua, Bapak Drs. Kamargono, M.M. dan Ibu Christina Padidi Tombilangi, S.Pd. serta saudara dan keluarga yang selalu ada untuk memberikan kasih dan sayang, do'a dan dukungan baik moril maupun materil.
12. Partner penelitian Karminingsih yang betul-betul selalu ada untuk membantu dan bertukar pikiran bersama.
13. Teman-teman satu tim Organik yang selalu memberikan bantuan, dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Teman-teman dekat yang selalu ada dalam hal membantu dan berbagi cerita bersama dalam keadaan apapun.
15. Teman angkatan ORB17AL yang berjuang bersama-sama untuk meraih mimpi, terima kasih atas bantuan yang diberikan serta kenangan yang dilalui. Mari sukses bersama.
16. Orang-orang baik yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu selama proses penyusunan skripsi ini.

17. Tidak lupa untuk diri sendiri yang begitu luar biasa, skripsi ini menjadi salah satu pembuktian bahwa saya mampu menyelesaikan dengan baik walau selama penyusunan selalu ada rintangan.

Sampailah penulis pada kalimat penutup dari pengantar ini, penulis menyadari akan segala kekurangan dalam penulisan skripsi ini baik dari segi isi, maupun tampilan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang berhubungan dengan skripsi ini. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua pihak khususnya mahasiswa Jurusan Kimia Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

Atas perhatian semuanya, penulis ucapkan terima kasih.

Gowa, April 2021

Penulis



Kartika Fatimah

NIM: 60500117037



DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1-6
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7-28
A. Energi Terbarukan	7
B. Biodiesel	8
C. Minyak Biji Kelor	12
D. Reaksi Transesterifikasi	16
E. <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	21
F. Algoritma <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	29-38
A. Waktu dan Tempat	29
B. Alat dan Bahan	29
1. Alat	29
a. <i>Hardware</i>	29

b. <i>Software</i>	29
2. Bahan	29
C. Prosedur Kerja	30-36
1. <i>Generate</i> Data RSM	30
2. Optimasi RSM	30
3. Perbandingan Optimasi Algoritma PSO	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Penelitian	37-47
1. <i>Generate</i> Data RSM	37
2. Optimasi RSM	38
3. Optimasi Algoritma PSO	40
4. Perbandingan Optimasi RSM-PSO	41
B. Pembahasan	42
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	48
B. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Moringa oleifera</i> L.	13
Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi	17
Gambar 3.1 Tampilan Layar Utama Matlab R2015a	30
Gambar 3.2 Parameter Algoritma PSO	31
Gambar 3.3 Inisialisasi dan Membangkitkan Kecepatan (V) dan Posisi (X) awal	32
Gambar 3.4 Evaluasi Fungsi <i>Fitness</i>	32
Gambar 3.5 Penentuan Pbest dan Gbest	33
Gambar 3.6 Iterasi Selanjutnya	33
Gambar 3.7 Update Kecepatan (V)	34
Gambar 3.8 Update Posisi (X)	34
Gambar 4.1 Nilai Regresi RSM	39
Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Eksperimen PSO	40
Gambar 4.3 Nilai Regresi PSO	41
Gambar 4.4 Nilai Optimum Algoritma PSO dengan $k_{max} = 500$	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat Mutu Biodiesel Berdasarkan SNI 04-7182-2012	9
Tabel. 2.2 Komposisi Asam Lemak Metil Ester (FAME) dari Metil Ester	
Tanaman Kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	14
Tabel 4.1 Variabel Bebas	37
Tabel 4.2 <i>Generate</i> Data Eksperimen	37
Tabel 4.3 Hasil <i>Generate</i> Data Eksperimen	38
Tabel 4.4 Hasil Konversi Biodiesel Prediksi RSM	38
Tabel 4.5 Hasil Konversi Biodiesel Eksperimen dan Prediksi RSM	39
Tabel 4.6 Perbandingan Konversi Biodiesel Eksperimen	
dan Prediksi PSO	40
Tabel 4.7 Perbandingan Optimasi RSM dan Algoritma PSO	42



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Persamaan
y	Variabel respon	2.1
X_i	Variabel bebas	2.1
ε	Error	2.1
β	Nilai parameter	2.2
K	Faktor	2.3
X_i	Posisi awal partikel	2.4
V_i	Kecepatan awal partikel	2.5
C_1 - C_2	Koefisien akselerasi	2.6
w	Bobot inersia (<i>inertia weight</i>)	2.6
V_j^{k+1}	Kecepatan pencarian	2.6
X_j^{k+1}	Posisi pencarian	2.6
$Pbest$	Partikel yang mencari solusi yang optimal dengan menyesuaikan terhadap posisi terbaik	2.6
$Gbest$	Posisi terbaik partikel pada <i>swarm</i>	2.6
r_1 - r_2	Nilai random untuk $Pbest$ - $Gbest$ dengan interval (0-1)	2.7
it	Iterasi sedang berlangsung	2.8
$itmax$	Iterasi maksimal	2.8

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur Penelitian	
1.1 Diagram Alir Penelitian	
1.2 Diagram Alir Optimasi Algoritma PSO	
1.3 Diagram Alir Perbandingan Optimasi RSM-PSO	
Lampiran 2. Data Sekunder Penelitian	
Lampiran 3. Analisis Data Konversi Biodiesel	
Lampiran 4. Optimasi Algoritma PSO	
4.1 Skrip (M-file) PSO Matlab R2015a	
4.2 Hasil Run Skrip (M-file) Matlab R2015a	
a. Data ke-1	
b. Data ke-2	
c. Data ke-3	
d. Data ke-4	
e. Data ke-5	
f. Data ke-6	
g. Data ke-7	
h. Data ke-8	
i. Data ke-9	
j. Data ke-10	
k. Data ke-11	
l. Data ke-12	
m. Data ke-13	
n. Data ke-14	
o. Data ke-15	

ABSTRAK

Nama : Kartika Fatimah

NIM : 60500117037

Judul : Perbandingan Optimasi Biodiesel dari Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.) menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM) Dan Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Optimasi produksi biodiesel telah banyak dilakukan menggunakan metode optimasi RSM. Akan tetapi optimasi ini hanya memodelkan secara matematis seperti pemodelan *Central Composite Design* (CCD) yang iterasinya terbatas. Sehingga, dilakukan metode optimasi lain menggunakan Algoritma PSO yang mampu melakukan beberapa kali iterasi sampai mencapai konvergen. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi optimum konsentrasi katalis, rasio metanol dan waktu reaksi serta hasil perbandingan optimasi RSM pemodelan CCD dan Algoritma PSO. Penentuan kondisi optimum dilakukan dengan metode RSM menggunakan 3 variabel yaitu konsentrasi katalis (1,32; 2; 3; 4; 4,68 %w), rasio metanol (0,16; 0,3; 0,5; 0,7; 0,84 vol/vol) dan waktu reaksi (69,55; 90; 120; 150; 170,45 menit). Parameter yang digunakan pada metode PSO adalah jumlah partikel dengan jumlah iterasi sebanyak 500 kali. Nilai optimum RSM diperoleh nilai optimum 96,61% serta R^2 sebesar 0,99288 pada konsentrasi katalis 3%, rasio metanol 0,16 v/v dan waktu reaksi 120 menit sedangkan algoritma PSO sebesar 96,34% serta R^2 sebesar 0,99235 pada konsentrasi katalis 3%, rasio metanol 0,16 v/v dan waktu reaksi 120 menit.

Kata Kunci: Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.), Biodiesel, RSM, CCD, PSO

ABSTRACT

Name : Kartika Fatimah
NIM : 60500117037
Topic : Optimisation Comparison of Biodiesel from Moringa Oil using Response Surface Methodology (RSM) Method and Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm.

The optimization of biodiesel production has been carried out using the RSM optimization method. However, this optimization only use mathematic models such as Central Composite Design (CCD) modeling which has limited iterations. So, another optimization method is carried out by using the PSO Algorithm which can do several iterations until it converges. The purpose of this study was to determine the optimal catalyst concentration conditions, methanol ratio, and reaction time as well as the results of the optimization comparison of CCD modeling and PSO algorithm. Determination of the optimum conditions was carried out by the RSM method using 3 variables, that is catalyst concentration (1.32; 2; 3; 4; 4.68% w), methanol ratio (0.16; 0.3; 0.5; 0.7; 0.84 vol / vol) and reaction time (69.55; 90; 120; 150; 170.45 minutes). The parameter used in the PSO method is the number of particles with the number of iterations of 500 times. The optimum value of RSM obtained an optimum value of 96.61% and R^2 of 0.99288 at a 3% concentration catalyst, a methanol ratio of 0.16 v/ v, and a reaction time of 120 minutes while the PSO algorithm was 96.34% and R^2 was 0.99235 at 3% catalyst, methanol ratio 0.16 v / v and reaction time 120 minutes.

Keywords: Moringa Seeds, Biodiesel, CCD, RSM, PSO

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Manusia membutuhkan energi dalam melakukan kegiatannya, namun mayoritas sumber energi dihasilkan dari sumber daya alam tidak di perbarukan. Kebutuhan energi semakin hari semakin meningkat sejalan dengan perkembangan zaman. Hal ini yang menyebabkan cadangan energi yang terus digunakan akan berangsur-angsur habis (Simsek dan Samet, 2020).

Energi alternatif muncul sebagai salah satu jalan dalam penghematan energi. Energi tersebut bertujuan untuk menggantikan energi fosil yang mengakibatkan kerusakan lingkungan. Biodiesel sebagai salah satu energi alternatif yang banyak diteliti sebagai pengganti bahan bakar fosil lebih bersih dalam proses pembakaran mesin. Di samping hal tersebut, karakteristiknya sangat dekat dengan bahan bakar mesin diesel (Simsek dan Samet, 2020: 1).

Biodiesel merupakan ester alkil dari asam lemak yang disintesis dari sumber daya alam terbarukan seperti lemak minyak nabati. Biodiesel sebagai sumber energi alternatif memiliki tingkat emisi yang rendah dari proses pembakaran (Ahmad, dkk., 2019) dengan presentasi oksigen sekitar 10-11%. Namun penggunaan biodiesel belum dimanfaatkan secara maksimal karena waktu penyimpanannya tidak tahan lama (Kumar, dkk., 2018).

Tanaman berbiji merupakan tanaman yang dapat dijadikan sebagai sumber biodiesel. Pemanfaatan tanaman tersebut merupakan tanda-tanda kekuasaan Allah swt. sebagaimana dijelaskan dalam QS. Asy Syu'araa'/26: 7-8.

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً وَمَا كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُؤْمِنِينَ ﴿٨﴾

Terjemahnya:

“dan Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, berapakah banyaknya Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik?. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat suatu tanda kekuasaan Allah. dan kebanyakan mereka tidak beriman.” (Kementrian Agama, 2013).

Menurut Quraish Shihab dalam tafsir Al-Mishbah bahwa Allah swt. yang mengeluarkan dari bumi ini berbagai ragam tumbuhan yang mendatangkan manfaat. Sesungguhnya semua hanya dapat dilakukan oleh Tuhan yang Maha Esa dan Maha Kuasa serta merupakan bukti jelas akan adanya sang pencipta. Tetapi kebanyakan kaum Tetapi kebanyakan kaum tidak mau beriman. Kata *karim* antara lain digunakan untuk menggambarkan segala sesuatu yang baik bagi setiap objek yang disifatinya. Tumbuhan yang baik paling tidak adalah yang subur dan bermanfaat.

Penjelasan diatas menunjukkan beragam tumbuhan yang diciptakan oleh Allah swt. yang bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari. Salah satunya adalah biji kelor yang dapat menghasilkan minyak sebagai bahan baku biodiesel.

Biji kelor yang sudah tua dapat menghasilkan 38-40% minyak. Minyak tersebut mengandung senyawa asam oleat (Azad, dkk., 2015), sterol, tetrafol dan flavonoid. Asam lemak pada biji kelor akan dikonversi menjadi metil ester (Rahim, 2019). Menurut penelitian Rashid, dkk. (2008) biodiesel dari minyak kelor memiliki kualitas yang sangat baik sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Reaksi transesterifikasi disebut reaksi alkoholisis karena reaksinya menggunakan pelarut alkohol seperti metanol (Putri, dkk., 2017: 19). Proses transesterifikasi menggunakan reaksi reversibel dan memberikan hasil maksimum

ketika mencapai kesetimbangan. Proses transesterifikasi apabila menggunakan waktu reaksi terlalu lama maka reaksinya akan ke arah negatif sehingga berakibat meningkatkan biaya produksi biodiesel (Zhang, dkk., 2020: 8) dan apabila proses pencucian dilakukan secara tidak sempurna, maka dapat membentuk produk samping berupa sabun (Kurniasih, dkk., 2017: 30). Proses transesterifikasi dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain suhu reaksi, konsentrasi katalis, jenis pelarut, rasio molar alkohol terhadap minyak, kecepatan pengadukan dan nilai asam lemak bebas (FFA) dari bahan baku minyak (Tan, dkk., 2017: 3). Optimasi parameter tersebut akan meningkatkan kualitas biodiesel menjadi lebih baik (Anwar, dkk., 2018: 104). Optimasi produksi biodiesel dapat menggunakan metode komputasi. Adapun macam-macam metode optimasi yang dapat digunakan antara lain Taguchi (Naik dan Reddy, 2018), *Queuing System* (Metode Antrian) (Hasan, 2011), *Weighted Product* (Risqyfaluthi, dkk., 2020), Newton-Raphson (Chatterjee dan Mandal, 2017), Algoritma Genetika (AG) (Ferdyan dan Hajjah, 2020), *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Istikomah, dkk., 2017) dan *Response Surface Methodology* (RSM) (Maulinda, dkk., 2020).

Tujuan utama dalam optimasi yaitu untuk mencapai hasil terbaik dengan menggunakan beberapa faktor dan batasan yang digunakan. Dua jenis metode optimasi yang digunakan yaitu *Response Surface Methodology* (RSM) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). RSM dan PSO merupakan metode optimasi yang menggunakan pemodelan berbasis matematika yang secara bersamaan dapat memodelkan lebih dari satu parameter *output* dan *input* (Aydin, dkk., 2020: 5).

Beberapa penelitian yang menggunakan metode optimasi RSM pemodelan CCD antara lain penelitian Ulfayana, dkk. (2014) dengan sampel sawit *off grade* hasil optimalnya variabel suhu 60°C, perbandingan metanol:minyak 8:1 dan

konsentrasi katalis zeolit alam 3% dengan *yield* 97,79%, Putri, dkk. (2017) menggunakan sampel minyak biji jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) diperoleh kondisi optimum 120 menit pada suhu 60°C dengan perbandingan mol 1:5 dengan rendemen sebesar 12,887%. Adapun penelitian lain yang menggunakan sampel biji kelor (*Moringa oleifera* L.) seperti penelitian Rashid, dkk. (2011) yang menghasilkan nilai transesterifikasi optimal suhu 66°C, waktu 71,08 menit, rasio perbandingan metanol:minyak 6,4:1 dan katalis KOH 0,80% dengan hasil *yield* 94,30%, Niju, dkk. (2019) hasil optimal pada setiap variabel konsentrasi katalis 4%, rasio metanol terhadap minyak 0,3 vol/vol, waktu reaksi 150 menit dan hasil konversi metil ester sebesar 95,14%.

Adapun metode PSO menggunakan algoritma yang akan berinteraksi memperbaharui nilai posisi partikel sebagai fungsi dari perubahan kecepatan partikel sampai iterasi maksimal terpenuhi (Effendi, dkk., 2016: 2). Beberapa penelitian yang menggunakan optimasi PSO antara lain penelitian Nilawati dan Achayani (2019) dengan sampel prediksi penilaian apartemen yang mempengaruhi nilai pasar menghasilkan nilai sebesar 2,84%, penelitian dari Istikomah, dkk. (2017) dengan sampel optimasi pemenuhan kebutuhan gizi balita hasil yang diperoleh 28,56% dan penelitian Sapruddin (2017) dengan sampel menganalisis masalah pada kartu kredit mendapatkan hasil sebesar 70%.

Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan optimasi data sekunder penelitian dari Niju, dkk. (2019) untuk optimasi produksi biodiesel menggunakan metode RSM dan algoritma PSO yang digunakan dalam memecahkan masalah optimasi.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi konsentrasi katalis, rasio pelarut terhadap minyak dan waktu reaksi pada reaksi transesterifikasi minyak kelor menggunakan perbandingan *Response Surface Methodology* (RSM) dan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) ?
2. Bagaimana perbandingan hasil optimasi *Response Surface Methodology* (RSM) pemodelan CCD dan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi konsentrasi katalis, rasio pelarut terhadap minyak dan waktu reaksi pada reaksi transesterifikasi minyak kelor dengan menggunakan perbandingan *Response Surface Methodology* (RSM) dan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).
2. Mengetahui perbandingan hasil optimasi *Response Surface Methodology* (RSM) pemodelan CCD dan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).

D. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi kepada masyarakat terkait pengembangan dan perbandingan pemodelan matematika yang lebih baik untuk memprediksi pengaruh konsentrasi katalis, rasio volumetrik pelarut dan waktu reaksi proses konversi trigeliserida menjadi biodiesel.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat terkait efektifitas penggabungan metode pemodelan optimasi antara *Response Surface Methodology* (RSM) dan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Terbarukan

Perkembangan kebutuhan energi dunia yang terus menerus ditengah semakin terbatasnya cadangan energi fosil. Laju pembentukan energi fosil dari makhluk hidup dalam hal ini minyak bumi terjadi sangat lama sekitar jutaan tahun dan akan habis. Akan tetapi kebutuhan pasar akan bahan bakar semakin meningkat namun tidak diimbangi dengan pasokannya. Apabila pemakaian BBM secara terus menerus tanpa tidak ditemukannya cadangan minyak baru atau teknologi baru untuk meningkatkan *recovery* minyak bumi maka diperkirakan cadangan minyak bumi Indonesia akan habis dalam waktu 23 tahun akan datang (Indriyanti, 2016: 288 dan Hambali, dkk., 2007: 3).

Penggunaan energi fosil ini mengakibatkan dampak negatif bagi kelestarian lingkungan (Prastowo, 2007: 86) karena dengan melepaskan karbon dioksida (CO_2) dan meningkatkan terjadinya efek gas rumah kaca sehingga berdampak pada pemanasan global (Vural, 2020: 1).

Menurut Menko Perekonomian dan Menteri ESDM, Indonesia sebagai salah satu negara yang masih kurang dalam pemakaian energi yang berasal dari tanaman dibandingkan dengan negara seperti Jepang dan Amerika Serikat. Presentase penggunaan energi fosil minyak bumi masih sekitar 54,4%, gas bumi 26,5%, batubara 14,1%, tenaga air 3,4%, panas bumi 1,4% sedangkan penggunaan energi lainnya termasuk bahan bakar nabati atau biofuel hanya sekitar 0,2%.

Tingginya kebutuhan energi memunculkan kepedulian terhadap energi terbarukan yang berasal dari lingkungan terutama pada sumber energi yang berasal dari tanaman. Pemanfaatan bahan bakar nabati sebagai alternatif bahan bakar minyak bumi merupakan salah satu pilihan yang sangat layak karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resource*). Dari tahun ke tahun peningkatan energi terbarukan yang berasal dari tanaman ini sudah lebih baik. Hal ini karena tanaman relatif lebih mudah didapatkan daripada energi fosil yang diambil dari proses batu bara, gas alam dan minyak bumi. Bahan bakar jenis ini paling fleksibel penggunaannya sampai saat ini. Bentuk dari BBN berbagai macam seperti cair, padat maupun gas. Namun BBN bentuknya cair yang memiliki nilai ekonomi paling tinggi, energi yang besar dan mudah didistribusikan (Harimurti dan Djajeng, 2011: 48).

B. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang berasal dari sumber daya terbarukan seperti minyak nabati. Biodiesel dapat berfungsi sebagai pengganti bensin yang berasal dari potroleum dan diesel bahan bakar fosil (Azad, dkk., 2015: 602). Biodiesel memiliki sifat yang mirip seperti solar, tetapi biodiesel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan solar. Komposisi asam lemak dari minyak nabati berbeda-beda tergantung dari jenis tanaman yang dijadikan biodiesel. Zat-zat penyusun utama minyak nabati maupun hewani adalah trigliserida yaitu triester gliserol dengan asam lemak C8-C24 (Hambali, dkk., 2007: 11).

Biodiesel memiliki beberapa parameter yang dijadikan sebagai syarat mutu dalam produknya. Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Biodiesel dikeluarkan oleh BSN dengan nomor SNI 04-7182-2012 Biodiesel. Adapun syarat mutu biodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Syarat Mutu Biodiesel Berdasarkan SNI 04-7182-2012

No	Parameter	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40 °C	Kg/m ³	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka setana	Min	51
4	Titik nyala	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi tembaga (3 jam pada 50°C) Residu karbon		Nomor 1
7	-dalam contoh asli - dalam 10 % ampas distilasi	% massa, maks	0,05 0,3
8	Air dan sendimen	% vol, maks	0,5
9	Temperatur distilasi 90 %	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	% massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, maks	101
12	Fosfor	mg/kg, maks	10
13	Angka asam	mg KOH/g, maks	0,6
14	Gliserol bebas	% massa, maks	0,02
15	Gliserin total	% massa, maks	0,24
16	Kadar Metil ester	% massa, min	96,5
17	Angka iodium	% massa (g – I ₂ /100 g), maks	115
18	Kestabilan oksidasi Periode induksi metode rancimat atau periode induksi metode petro oks	% massa (g – I ₂ /100 g), maks	360 27

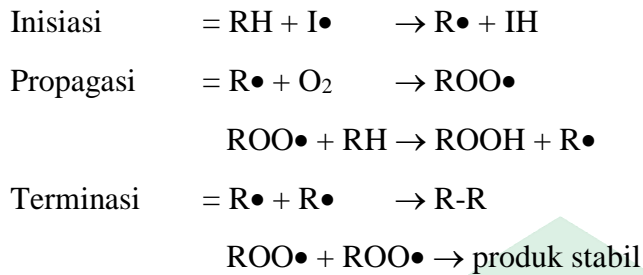
Kelebihan yang dimiliki pada minyak nabati sehingga digunakan sebagai bahan baku biodiesel antara lain sumber yang dijadikan minyak mudah diperoleh, proses pembuatan biodiesel mudah dan cepat, serta tingkat konversi minyak nabati menjadi biodiesel tinggi mencapai 95% (Hambali, dkk., 2007: 11).

Keunggulan dari biodiesel seperti tidak beracun, bahan bakar karbon yang netral, kandungan sulfur yang rendah, pelumasan yang lebih baik dan sebagai *biodegradable*. Penggunaan biodiesel dapat mengurangi sebagian besar emisi gas buang (seperti monoksida, hidrokarbon yang tidak terbakar dan partikel-partikel debu), mengurangi pemanasan global (Achorya, dkk., 2019 dan Koutsuki, dkk., 2015) dan memiliki angka setana yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Laskar, dkk., 2020: 98). Bahan baku yang berpotensi sebagai bahan baku pembuat biodiesel yaitu kelapa sawit, jarak pagar, biji alpukat, daun dan biji kelor, kedelai dan

beberapa jenis tumbuhan lainnya (Juhari, dkk., 2019: 29). Pada proses produksi biodiesel tahapan yang paling penting adalah proses pemurnian biodiesel yang dihasilkan (Oktavian, dkk., 2019).

Biodiesel memiliki lebih banyak jumlah ikatan rangkap tak jenuh antara karbon-karbon sehingga membuat senyawa yang ada di dalam tidak stabil dan aktif terhadap kontak dengan udara, air, partikel debu dan permukaan logam. Apabila bereaksi dengan permukaan logam maka ikatan rangkap akan membentuk peroksida hidrosilikat alilik yang tidak stabil dalam keadaan primer dan dengan mudah membentuk keadaan oksidasi. Meningkatkan jumlah ikatan rangkap dalam biodiesel akan mengurangi kestabilan oksidasi. Sehingga stabilitas oksidasi tergantung pada jumlah ikatan rangkap ($C=C$) molekul (Kumar, dkk., 2018). Biodiesel memiliki presentase asam lemak yang tak jenuh yang lebih tinggi sehingga memiliki stabilitas oksidasi yang tidak baik (Acharya, dkk., 2019).

Terjadinya proses oksidasi ini merupakan serangkaian reaksi yang terjadi sebagai tahap inisiasi, propagasi dan terminasi. Stabilitas biodiesel bergantung pada sejumlah faktor seperti komposisi biodiesel, penambahan antioksidan dan tahap oksidasi. Proses oksidasi ini akan menurunkan kualitas biodiesel dan meningkatkan keausan pompa bahan bakar mesin. Inisiasi reaksi oksidasi ketika hidrogen dihilangkan dari atom karbon di sebelah ikatan rangkap dan radikal bebas berbasis karbon terbentuk. Ini adalah radikal bebas ketika digabungkan dengan oksigen (O_2) dari radikal bebas berbasis karbon. Tetapi juga cukup reaktif untuk mengabstraksikan hidrogen dari karbon untuk membentuk radikal bebas berbasis karbon dan hidroperoksida lainnya (Acharya, dkk., 2019).



(Acharya, dkk., 2019).

Biodiesel dengan densitas yang melebihi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran menjadi tidak sempurna sehingga peningkatan emisi dan keausan pada mesin. Reaksi pembakaran ini dipengaruhi oleh viskositas (kekentalan). Tingginya viskositas dapat mempengaruhi sistem injeksi mesin diesel sehingga menyebabkan terbentuknya deposit pada mesin (Ulfayana, dkk., 2014: 5).

Faktor penting lainnya produksi biodiesel adalah rasio molar pelarut metanol dan minyak. Pelarut ini memainkan peran penting dalam konversi biodiesel. Apabila rasio molar tidak sesuai maka menimbulkan reaksi pembentukan sabun (Hoseini, dkk., 2018: 626). Peningkatan presentase konversi biodiesel dikarenakan adanya batasan rasio molar. Apabila rasio molar meningkat lebih dari batas tertentu maka produksi biodiesel akan berkurang. Dapat dilihat dengan adanya jumlah peningkatan pelarut metanol dalam campuran yang lebih banyak menghilangkan gliserin dan alkohol dalam biodiesel yang dianggap dapat mempengaruhi kemurnian dari pembuatan biodiesel tersebut (Fayazzi, dkk., 2015: 316). Penggunaan pelarut metanol yang berlebihan dapat menyebabkan reaksi mundur yakni bercampurnya kembali antara gliserol dan ester sehingga menurunkan hasil biodiesel (Verma, dkk., 2016: 189).

C. Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.)

Moringa oleifera L. merupakan spesies tanaman hijau, tumbuh dengan cepat, tipe daun yang gugur dan banyak dibudidayakan. Tanaman ini tumbuh di daerah yang beriklim tropis dan sub tropis. Membutuhkan curah hujan sekitar 250-2000 mm tergantung pada kondisi tanah. Jenis tanaman ini juga dapat tumbuh kapan saja sepanjang tahunnya (Azad, dkk., 2015: 602-603).



Gambar 2.1 Biji Kelor (*Moringa oleifera* L.)

Menurut Azad, dkk. (2015: 2015), taksonomi dari tanaman kelor adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae
 Sub Kingdom : Angiospermae
 Filum : Charophyta
 Kelas : Equisetopsida
 Sub Kelas : Magnolidae
 Orde : Brassicales
 Family : Moringaceae
 Genus : Moringa
 Spesies : *Moringa oleifera* L.

Setiap bagian dari tanaman ini baik pada daun, batang maupun biji nya mempunyai khasiat dalam menyembuhkan berbagai penyakit. Hal tersebut karena adanya beberapa zat kimia yang baik bagi kesehatan di dalam bagian tanamannya

(Widyanastuti dan Susilo, 2013: 49). Selain itu memiliki kandungan nutrisi yang besar sehingga baik dikonsumsi untuk menjaga kesehatan tubuh (Aminah, dkk., 2015: 35).

Pada tahun pertama, tanaman kelor sudah menghasilkan biji. Dalam satu polong diperoleh sekitar 20 biji. Produksi semakin banyak pada tahun-tahun berikutnya. Biji kelor berbentuk bulat, berwarna hijau terang saat muda dan coklat kehitaman saat polong matang dan kering. Biji nya ini mengandung sekitar 35-40% dari berat kering. Berat rata-rata dari biji buah kelor sekitar 18-38 gram per 100 biji buah kelor. Kualitas minyak biji kelor menyerupai minya zaitun (*olive oil*). Manfaat biji kelor sangat beragam seperti dapat digunakan sebagai penjernih air permukaan karena sifatnya koagulan, serbuk biji kelor memiliki sifat antibakteri serta digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti BBM yang terbarukan (Aminah, dkk., 2015: 37-38 dan Prihandana dan Roy, 2008: 150).

Biji kelor mengandung sekitar 38-40% asam oleat dan 25-30% kadar air. Adanya kandungan kadar air yang tinggi pada biji kelor dapat dihilangkan dengan proses pengeringan (Azad, dkk., 2015: 603). Adanya sumber minyak potensial biji kelor seperti asam oleat sehingga dikatakan sebagai minyak oleat tinggi (Rashid, dkk., 2011: 3035). Menurut penelitian Anwar dan Bhanger (2003) yang menganalisis sifat fisik dari biji kelor dengan bantuan metode ekstraksi menggunakan jenis pelarut n-heksan ditemukan adanya kandungan protein, serat dan abu berturut-turut senilai 26,5-32%, 5,8-9,29% dan 5,6-7,5%. Hal ini yang membuat sifatnya berbeda dari jenis minyak lain.

M A K A S S A R

Menurut Nasir, dkk. (2010: 31), kualitas minyak dari biji kelor dipengaruhi beberapa faktor yaitu:

1. Kualitas dan kemurnian bahan baku. Adanya benda asing atau biji berkualitas jelek yang tercampur dalam bahan baku akan menyebabkan minyak cepat rusak dan berbau.
2. Kadar air yang terkandung dalam biji. Biji kelor yang terlalu lama disimpan meningkatkan kandungan kadar air sehingga menghasilkan minyak dengan mutu yang kurang baik.
3. Usia biji. Biji kelor yang usianya cukup tua akan menghasilkan minyak yang kualitas dan kuantitasnya lebih baik dibanding dengan minyak biji kelor yang lebih muda.
4. Perlakuan terhadap bahan baku pada saat proses dan pasca proses (misalnya: proses penghalusan biji, penyimpanan minyak hasil proses).

Kandungan asam lemak minyak biji kelor dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Komposisi Asam Lemak Metil Ester (FAME) dari Metil Ester Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*)

Asam Lemak	*CN/DB	Konsentrasi (%)
Palmitat	C16:0	5,2 ± 0,1
Palmitoleat	C16:1	1,4 ± 0,1
Stearat	C18:0	4,0 ± 0,1
Oleat	C18:1	81,6 ± 0,5
Linoleit	C18:2	n.d.
Linonelat	C18:3	n.d.
Arachidic	C20:0	2,1 ± 0,1
Gadoleat	C20:1	n.d.
Behenic	C22:0	1,9 ± 0,1
Erucic	C22:1	n.d.
Lignoceric	C24:0	3,8 ± 0,1
Σ asam lemak jenuh	-	17,0 ± 0,1
Σ asam lemak tak jenuh	-	83,0 ± 0,1

*CN = Jumlah Karbon; DN = Jumlah Ikatan Rangkap; n.d. = ≠ Terdeteksi

(Fernandes, dkk., 2015: 78)

Adanya tanaman yang bermanfaat karena mengandung sumber energi seperti yang telah dijelaskan dalam QS Yasin/36: 80.

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنتُم مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

Terjemahnya:

“Allah yang menjadikan api untukmu dari kayu yang hijau, maka seketika itu kamu nyalakan (api) dari kayu itu.” (Kementerian Agama, 2013).

Menurut Alamah Kamil Faqih Imani dalam tafsir Nurul Quran menjelaskan bahwa adanya salah satu aktivitas tanaman yakni menyerap karbon dari udara dan menghasilkan sel kecil nabati yang unsurya terdiri dari karbon, oksigen dan hidrogen. Bagian-bagian terkecil dari tumbuhan menyerap gas karbon dari udara dan menganalisanya. Kemudian melepaskan oksigen dan menyimpan karbon. Lalu karbon ini dicampurkan dengan air sehingga menumbuhkan batang.

Pada akhirnya, perbuatan menyalakan api dengan menggunakan kayu tanaman, meskipun kelihatan sederhana dalam pandangan kita, jika diperhatikan akan memperjelas bahwa hal ini adalah sesuatu yang mengejutkan karena sebagian besar dari materi yang menyusun batang tanaman adalah air dan sebagian lagi tersusun dari tanah yang juga tidak mudah terbakar (Tafsir Nurul Qur'an, 2010: 432-433).

Api di sini dapat saja diinterpretasikan sebagai energi. Di dalam tumbuhan memang terjadi proses pemanfaatan energi terbarukan untuk untuk dijadikan sebagai bahan bakar alternatif. Sebagaimana diuraikan, maka tanaman adalah makhluk yang sangat dan paling penting untuk kelangsungan kehidupan makhluk lainnya (Tafsir Nurul Qur'an, 2010).

Minyak dari biodiesel memiliki kualitas yang sangat baik dan dapat dipergunakan sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel menggunakan proses yang sesuai (Fernandes, dkk., 2015: 75). Menurut hasil dari beberapa peniltian biodiesel dari biji kelor memiliki emisi yang lebih rendah dari karbon monoksida (CO) dan

karbon dioksida (CO_2 apabila dibandingkan dengan bahan bakar tidak terbarukan. Tingginya kandungan asam oleat dari biji kelor menyebabkan suhu titik nyala yang tinggi sehingga dapat menguntungkan untuk pembuatan bahan bakar yang aman dan dapat disimpan dalam suhu ruang (Azad, dkk., 2015: 604).

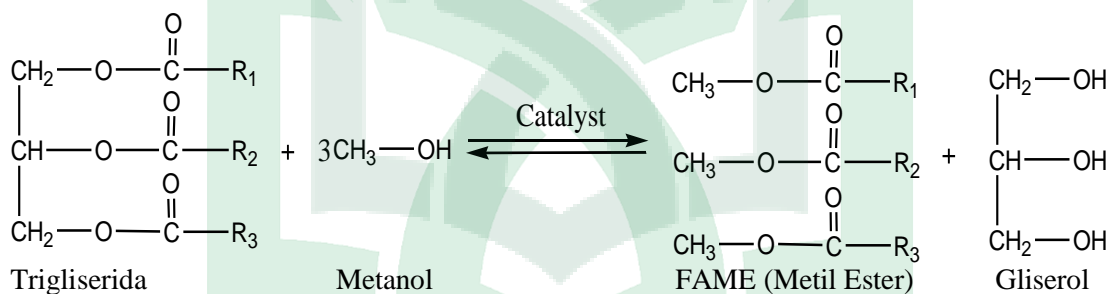
D. Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah salah satu proses yang efisien untuk pengubahan biodiesel yang berasal dari minyak nabati atau hewan (Azad, dkk., 2015: 603). Metode transesterifikasi digunakan karena hasil yang diperoleh lebih tinggi dan menggunakan pemakaian energi yang rendah (Fayazzi, dkk., 2015: 312). Proses ini melibatkan molekul trigliserida minyak yang telah dikonversi menjadi campuran metil ester yang diperoleh dari hasil asam lemak dan pelarut metanol dengan bantuan katalis dan suhu tertentu untuk membentuk metil ester (biodiesel) sebagai produknya dan gliserol sebagai produk samping (Syahir dan Fyadlon, 2017: 16 dan Shammer, dkk., 2017).

Teknologi produksi biodiesel yang berkembang saat ini dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu proses enzimatis, proses menggunakan katalis dan proses tanpa katalis (Aritonga, 2014: 5). Proses produksi biodiesel adalah proses satu tahap (transesterifikasi) yang digunakan untuk produksi biodiesel. Transesterifikasi dengan bantuan katalis mampu menghasilkan nilai konversi mencapai 98% dengan waktu yang minimum. Biodiesel hasil transesterifikasi merupakan campuran dari asam lemak metil ester (FAME) dan beberapa pengotor lainnya seperti gliserol bebas, metanol yang tidak bereaksi, sisa katalis, trigliserida, monogliserida dan digliserida yang tidak bereaksi serta kandungan air dalam jumlah yang kecil (Oktavian, dkk., 2019: 21).

Proses transesterifikasi bertujuan untuk menurunkan viskositas (kekentalan minyak), sehingga mendekati nilai viskositas solar. Nilai viskositas yang tinggi akan menyulitkan pemasukan bahan bakar dari tangki ke ruang bahan bakar mesin dan menyebabkan atomisasi lebih sukar terjadi. Hal ini mengakibatkan pembakaran kurang sempurna dan menimbulkan endapan pada nosel (Hambali, dkk., 2017: 10).

Proses reaksi transesterifikasi terjadi secara bertahap. Proses pertama adalah konversi dari trigliserida menjadi digliserida kemudian dikonversi lagi ke dalam bentuk monogliserida lalu menjadi gliserol dan menghasilkan produk metil ester dari gliserida dari setiap tahapnya (Putri, dkk., 2017: 20). Reaksi transesterifikasi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi (Qu, dkk., 2021: 2)

Biodiesel (FAME) disintesis dari minyak nabati, hewani atau limbah dan alkohol melalui proses transesterifikasi dengan adanya katalis. Katalis ini dibagi jadi katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen mempunyai aktivitas katalitik yang sangat besar dalam reaksi transesterifikasi. Namun, katalis homogen mempunyai kekurangan yakni mudah larut dalam reagen selama proses transesterifikasi sehingga akan mempengaruhi produk akhir dari biodiesel, susah didaur ulang serta katalis homogen bisa menimbulkan korosi pada mesin. Adanya katalis heterogen bisa menggantikan kekurangan katalis homogen karena dapat di daur ulang. Sehingga katalis ini lebih sesuai buat pemakaian yang berkepanjangan (Zhang, dkk., 2020: 2).

Proses transesterifikasi umumnya dilakukan dengan menggunakan katalis basa, tetapi apabila sampel dan bahan yang digunakan memiliki nilai bilangan asam yang tinggi maka diperlukan proses *pre-treatment* atau lebih dikenal dengan proses esterifikasi. Hal ini dilakukan untuk menurunkan kandungan asam lemak bebas dari bahan yang akan dibuat sebagai biodiesel (Dwita, dkk., 2019: 24). Selain itu, karena katalis basa mampu mengkonversi biodiesel sekitar 98% dengan waktu reaksi minimum (Putri, dkk., 2017: 19). Biodiesel juga dapat diproduksi tanpa katalis secara terus menerus tetapi untuk mengimbangnya, suhu harus ditinggikan atau perilaku dibawah kondisi superkritis (Ahmad, dkk., 2019).

Salah satu jenis transesterifikasi adalah transesterifikasi *in situ*. Transesterifikasi *in situ* atau ekstraksi reaktif merupakan metode yang berbeda dari produksi alkil ester yang langsung membentuk bantalan minyak. Selama proses transesterifikasi *in situ*, metanol bertindak sebagai pelarut ekstraksi dan pada saat yang sama bertindak sebagai reagen (Koutsouki, dkk., 2015). Proses transesterifikasi *in situ* dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan katalis (asam, basa dan enzim) serta non katalis (rantai pendek alkohol) (Azad, dkk., 2015 dan Ahmad, dkk., 2019). Konsentrasi katalis merupakan variabel penting yang mempengaruhi transesterifikasi selain hidrolisis dan saponifikasi. Efek dari konsentrasi katalis akan mempengaruhi berat serta kemurnian. Konsentrasi katalis yang berlebihan dapat meningkatkan interaksi antara senyawa lain dan juga dapat meningkatkan produksi oleh produk yang menyebabkan hasil kemurnian rendah. (Dehghan, dkk., 2019).

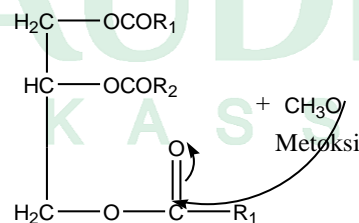
Biodiesel yang dihasilkan secara kimia menggunakan katalis homogen kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH) dan metoksida (CH_3NaO) memiliki kemampuan mengubah laju reaksi tanpa harus bereaksi (katalitik) yang kuat (Zhao, dkk., 2019). Namun, katalis ini memiliki beberapa keterbatasan seperti jumlah air yang

digunakan lebih banyak selama pencucian biodiesel sehingga membutuhkan proses pemisahannya menjadi sulit dan meningkatkan biaya produksi (Laskar, dkk., 2020: 98).

Sehingga adanya katalis jenis heterogen padat seperti CaO, MgO, resin penukar ion dan zeolit yang dapat dengan mudah dipisahkan, sifatnya dapat digunakan dan kurang korosif daripada asam mineral (Zhao, dkk., 2019 dan Ahmad, dkk., 2019). Katalis jenis heterogen yang sering digunakan adalah katalis CuO-CaO karena memiliki kekuatan basa yang tinggi, ramah lingkungan, kelarutan yang rendah dalam metanol dan dapat disintesis dari sumber yang murah (seperti batu kapur, kalsium hidroksida, batu gamping). Katalis ini diperoleh dari proses dekomposisi mineral kalsit (CaCO_3). Selain itu, katalis ini juga dapat diperoleh dari hasil sintesis bahan limbah tulang hewan ikan, kerang laut dan cangkang telur. Kalsium oksida (CaO) akan memberikan nilai konversi yang tinggi dari bahan baku minyak nabati sedangkan CuO akan memberikan stabilitas dan luas permukaan spesifik yang tinggi (Niju, dk., 2019: 757 dan Pratigto, dkk., 2019: 58).

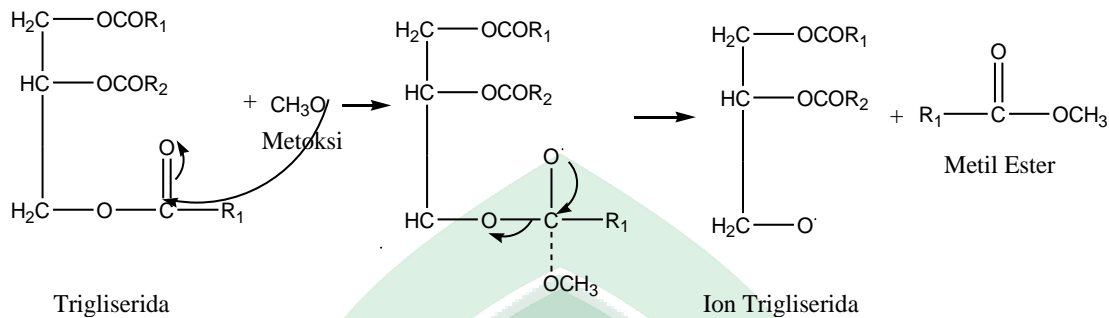
Menurut Oko dan Feri (2019: 106-107), adapun mekanisme pembentukan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan menggunakan reaktan metanol dan katalis CaO melalui dua tahap yaitu sebagai berikut:

1. Penyerangan nukleofilik metoksida (CH_3O^-) pada karbon dari gugus karbonil ($-\text{C}=\text{O}$).



Trigliserida

2. Pemutusan ikatan C-O disertai pembentukan metil ester (biodiesel).



Penelitian yang dilakukan Qu, dkk. (2021) terkait penambahan katalis CaO yang disintesis dengan metode hidrotermal memberi pengaruh berbeda terhadap hasil *yield* biodiesel. Dimana pada penambahan katalis ini diperoleh rendemen sebesar 87,37%, untuk penambahan katalis 8,19% selama 3 jam. Penelitian lainnya yang dilakukan Fanny, dkk. (2012) menambahkan jenis katalis CaO pada pembentukan biodiesel dan diperoleh kadar *yield* 98,8% , sedangkan penelitian Rachim, dkk. (2017) dengan memodifikasi katalis CaO-ZnCl_2 dilakukan dengan metode impregnasi menghasilkan biodiesel sebesar 77,94% .

Umumnya proses ini menggunakan pelarut metanol karena harganya lebih murah dan lebih mudah untuk di daur ulang (Dwita, dkk., 2019: 24), kondisi reaksi yang ringan dan apabila digunakan pada proses transesterifikasi akan menghasilkan viskositas biodiesel yang lebih rendah dari biofuel yang diperoleh dari pelarut alkohol lain (Ramirez, dkk., 2021: 2). Selain itu, metanol juga memiliki tingkat reaktifitas yang paling tinggi jika dibandingkan dengan jenis alkohol lainnya sehingga reaksinya disebut metanolisis (Juhari, dkk., 2019: 30). Metanol termasuk variabel yang sangat penting dalam transesterifikasi karena memiliki pengaruh yang besar terhadap rendemen metil ester karena transesterifikasi merupakan reaksi *reversible* (bolak-balik), maka metanol yang direaksikan harus dalam jumlah yang besar untuk menggeser reaksi ke arah pembentukan metil ester (Hidayati, 2017: 3).

Konsentrasi pelarut dan gliserol menentukan waktu yang dibutuhkan untuk pemisahan produk dari campuran reaksi (Laskar, dkk., 2020: 105). Pelarut metanol berperan sebagai pereaksi sekaligus pelarut dari asam lemak sehingga terkadang isolasi lemak menjadi tidak sempurna. Sehingga membutuhkan pelarut tambahan dengan sifat kepolaran yang mirip dengan asam lemak. Hal tersebut bertujuan untuk menyempurnakan proses isolasi dan transesterifikasi seperti n-heksan (C_6H_{14}), kloroform ($CHCl_3$), aseton (C_3H_6O) maupun petroleum eter (Dwita, dkk., 2019: 24). Namun penggunaan pelarut ini secara berlebihan dapat meningkatkan polaritas sehingga terjadi peningkatan kelarutan gliserol dan membuat sulit dipisahkan dari alkil ester (Hasni, dkk., 2017: 396). Biodiesel yang diperoleh dari proses ini menghasilkan nilai asam rendah sehingga efektif dalam mengurangi nilai asam menjadi nilai yang dapat diterima dalam nilai standar yang telah ditetapkan (Fernandes, dkk., 2015: 77).

E. Response Surface Methodology (RSM)

Response surface methodology atau metode permukaan respons pertama kali diperkenalkan oleh Box dan Wilson yang merupakan metode gabungan dari pendekatan statistik dan matematika untuk pemodelan, pengembangan analisis masalah, modifikasi dan optimalisasi dari berbagai proses. Metode ini banyak digunakan dalam membantu mengoptimalkan berbagai proses industri misalnya untuk mengoptimalkan produksi biodiesel (Tan, dkk., 2017: 4). RSM sangat efektif saat mendesain eksperimen untuk memaksimalkan hasil dan meminimalkan biaya produksi (Anwar, dkk., 2018: 104).

RSM mencakup masalah pemilihan rancangan percobaan yang cocok untuk optimasi dan metode penelusuran ruang faktor untuk mencapai daerah optimum dengan cepat. Dalam penerapannya sangat penting terutama di bidang rancangan,

pengembangan, perumusan dan peningkatan suatu produk baik yang sudah ada maupun produk baru (Duweini dan Riza, 2017: 238).

Metode RSM merupakan suatu metode berdasarkan teknik matematika pada model (fungsi linear, polinom persegi dan lainnya) untuk hasil eksperimen yang dihasilkan dari eksperimen yang dirancang serta verifikasi model yang diperoleh dengan memakai model statistik (Irawati, dkk., 2019: 35), digunakan untuk menganalisis suatu respon (y) terhadap variabel bebas (x) sehingga respon tersebut dapat dimaksimalkan. Hubungan antara respon dan variabel bebas adalah sebagai berikut:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana y = variabel respon

x_1, x_2, \dots, x_k = variabel bebas/faktor

ε = *error* atau kesalahan

Fungsi respon f yang tidak diketahui sehingga memunculkan suatu model yang akan diperkirakan. Perkiraan model ini berdasarkan pada pemeriksaan dari proses sehingga didapatkan model empiris. Secara umum RSM ditampilkan dalam bentuk grafik dan untuk membantu visualisasi dari permukaan plot sering digunakan *countur* dari permukaan respon. Garis *countur* yang terbentuk mempresentasi ketinggian permukaan yang akan terbentuk (Setiawan, dkk., 2017: 49). Metode yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu atau lebih variabel perlakuan dan metode permukaan respon (RSM) yang merupakan suatu kumpulan metode-metode matematika yang dipergunakan dalam bentuk kuantitatif dengan sebuah variabel respon yang bertujuan untuk mengoptimalkan respon tersebut dalam suatu percobaan (Trihaditia, dkk., 2018: 215).

Apabila bentuk hubungan tersebut dapat dijelaskan dengan baik melalui model polinomial orde pertama, maka persamaan model yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \varepsilon \dots\dots\dots (2.2)$$

tetapi apabila terdapat pola melengkung (*curvature*) maka dapat digunakan model polinomial orde kedua yang dinyatakan sebagai berikut:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2 + \varepsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

ketika proses pendugaan diarahkan ke orde pertama maka diperlukan uji kococokan model (*goodness of fit test*). Uji ini digunakan untuk melihat tepat atau tidaknya pendugaan model yang dilakukan. Tetapi apabila model tidak linier atau terdapat melengkung (*curvature*) maka dapat digunakan model polinomial orde kedua, untuk model ini perlu dilakukan uji ketidakcocokan model (*lack of fit test*) (Huda, 2015: 7).

Mayoritas rancangan percobaan empiris mengasumsikan bahwa faktor tersebut hanya memberikan efek terhadap respons secara individual serta tidak ada interaksi antara faktor-faktor tersebut. Metode ini secara luas digunakan pada bidang biologi, pertanian dan kimia terapan sehingga memberikan keuntungan dalam memprediksikan kondisi wilayah optimum dalam sistem (Apriliyanti, dkk., 2017: 225) serta hasil akurasi dapat dicapai dengan eksperimen yang lebih ringkas menghemat waktu dan uang (Simsek dan Samet, 2020: 3).

Metode ini digunakan untuk menemukan aspek operasi optimal dengan mengambil parameter yang diinginkan. Tujuan dari metode ini adalah untuk menentukan dan memaksimalkan efek dan derajat efek beberapa faktor input pada parameter respons mesin. Metode ini akan memaksimalkan respon yang sesuai dengan faktor input dengan mampu mengendalikan hubungan antara parameter input dan output. Kemampuan dari penggunaan teknik RSM sebagai langkah yang akurat untuk

memaksimalkan parameter operasi mesin diesel yang diberdayakan dengan biodiesel yang berkaitan dengan kinerja terbaik dan emisi gas buang (Simsek dan Samet, 2020: 2-3).

Metode desain umumnya digunakan pada metode permukaan tanggap atau *response surface methodology* (RSM) adalah *Central Composite Design* (CCD). CCD dapat digunakan dengan jumlah faktor yang dipelajari 2 atau lebih (Apriliyanti, dkk., 2017: 227) yakni terdiri dari k faktorial dengan masing-masing faktor mempunyai level rendah (diberi kode -1), level tinggi (diberi kode +1), level tengah (diberi kode 0) dan level pada sumbu aksial diberi kode $-\alpha$ dan $+\alpha$ (Akolo dan Azis, 2016: 66).

Desain komposit terpusat harus memiliki paling sedikit tiga level untuk setiap faktor karena apabila level faktor lebih kecil dari tiga level maka koefisien kuadrat tidak dapat diduga. CCD terdiri dari rancangan faktorial 2^k ditambah pengamatan pada titik pusat (*center point*) dan titik aksial (*axial point*) (Huda, 2015: 8).

F. Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)

Algoritma PSO pertama kali diperkenalkan oleh J.Kennedy pada tahun 1995. Algoritma ini meniru kemampuan seekor burung yang mencari sumber makanan secara berkelompok. Algoritma PSO dianggap sebagai inisialisasi partikel solusi secara acak. Keuntungan tersendiri dari algoritma ini adalah sangat sederhana dan pola dapat diimplementasikan hanya dalam beberapa baris kode. *Output* dari hasil iterasi algoritma PSO ini akan mendapatkan nilai optimasi (Effendi, dkk., 2016: 2 dan Wicaksono, dkk., 2016: 152).

Particle Swarm Optimization (PSO) ialah salah satu algoritma optimasi yang bekerja dengan memakai sesuatu acuan mutu dengan cara menggunakan fungsi tertentu. Aplikasi ini dapat diterapkan di berbagai bidang untuk memecahkan permasalahan optimasi. Keuntungan aplikasi PSO yakni bisa mengefisienkan

perhitungan baik dari segi memori yang di butuhkan, tidak digunakan operator matematika yang rumit, dapat menentukan parameter yang optimum serta hanya diperlukan sebagian baris kode pemrograman (Achyani, 2018: 2).

PSO dibentuk karena dasar meniru perilaku sosial sekawanan burung atau sekumpulan ikan. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu lain dalam suatu kelompok. Kelompok partikel ini diperkirakan memiliki parameter khusus dan komponen tempat asalnya berada dalam posisi acak dengan batasan permasalahan yang dihadapi. Masing-masing komponen diperkirakan memiliki karakter posisi dan kecepatan. Setiap partikel atau individu berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Komponen akan berputar pada ruang khusus dan menghafal jalur terpendek yang sudah ditempuh pada titik nilai fungsi objektif (Kusmarna, 2013: 11 dan Ihwany, 2018: 12).

Beberapa jenis metode algoritma PSO adalah sebagai berikut:

1. *Modified Improved Particle Swarm Optimization* (MIPSO) adalah modifikasi algoritma dengan menggunakan parameter baru *Constriction Factor Approach* (CFA) (Huda, 2015) yang diperkenalkan untuk menyeimbangkan kemampuan penelusuran Pbest dan Gbest (Tuegeh, dkk., 2009).
2. *Accelerated Particle Swarm Optimization* (APSO) adalah pengembangan dari metode MIPSO, iterasi yang digunakan lebih sedikit dan konversi satuan pada respon tidak berpengaruh pada hasil yang diperoleh (Huda, 2015).
3. *Modified Particle Swarm Optimization Genetic Algorithm* (M-PSO) adalah modifikasi kombinasi dari PSO dan GA yang dapat menentukan solusi global pada fungsi non linear dengan jumlah iterasi yang cepat (Kurniawan dan Suciati, 2017).

Setiap partikel diperlakukan seperti titik pada suatu dimensi ruang tertentu. Dua faktor yang memberikan karakter terhadap suatu status partikel pada ruang pencarian yaitu posisi partikel (X) dan kecepatan partikel (V). Formulasi matematika menggambarkan posisi dan kecepatan partikel suatu ruang dimensi tertentu sebagai berikut:

$$X_i(t) = X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in} \quad (2.4)$$

$$V_i(t) = V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in} \quad (2.5)$$

(Ramdhani, 2016: 3)

Menurut Efendi, dkk (2016: 2), PSO memiliki parameter adalah sebagai berikut:

1. *Swarm* (jumlah partikel) merupakan jumlah populasi dari suatu algoritma. Ukuran *swarm* atau populasi yang dipilih adalah banyaknya masalah yang akan dihadapi. Ukuran *swarm* yang digunakan antara 20-50. Namun sebenarnya dalam sebagian besar masalah 10 partikel cukup besar untuk mendapatkan hasil yang bagus (Zerda, 2009: 9).
2. Dimensi partikel, bergantung pada masalah yang akan dioptimasi.
3. *Learning rate*, biasanya c_1 dan $c_2 = 2$. c_1 merupakan faktor learning untuk *particle* sedangkan c_2 merupakan faktor learning untuk *swarm*.
4. *Velocity* merupakan vektor yang menggerakkan proses optimasi yang menentukan arah dimana suatu partikel diperlukan untuk berpindah untuk memperbaiki posisinya semula. Perumusan *update velocity* menggunakan dua informasi tersebut untuk semua partikel pada kumpulan dengan pengaruh perpindahan yang sekarang (V_j^k), untuk memberikan arah pencarian untuk generasi selanjutnya (V_j^{k+1}). Perumusan *update velocity* mencakup beberapa

parameter *random* (*rand*), untuk mendapatkan cakupan yang baik pada *design space*. Untuk menentukan nilai *velocity* dapat dilihat dari persamaan:

$$V_j^k = WV_j^k + C_1 \text{rand}_1 \times (Pbest_j - X_j^k) + C_2 \text{rand}_2 \times (Gbest_j - X_j^k) \dots\dots\dots (2.6)$$

5. Update posisi tiap partikel dengan vektor *velocity* seperti pada persamaan:

$$X_j^{k+1} = X_j^k + V_j^{k+1} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana V_j^k = *velocity* dimensi ke-j pada iterasi ke-k

W = bobot inersia

C_1 = nilai koefisien akselerasi ke-1

C_2 = nilai koefisien akselerasi ke-2

rand = nilai random (0-1)

X_j^k = posisi dimana ke-j pada iterasi ke-k

$Pbest_j$ = nilai $Pbest$ dari dimensi ke-j

(Istikomah, dkk., 2017: 1323).

6. *Inersia weight* (berat inersia) disimbolkan dengan w , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan suatu partikel. Berat inersia diperkenalkan untuk keseimbangan antara kemampuan penelusuran *global* ($Gbest$) dan *local* ($Pbest$). Selain itu merupakan parameter penurunan kecepatan untuk menghindari *stagnasi particle* di local optimum (Zerda, 2009: 10). Biasanya $w=1$.

Dengan demikian *intersia weight* setiap iterasinya menjadi:

$$Wit = Wmax - Wmin \times \frac{(itmax-it). it}{it max} + Wmin \dots\dots\dots (2.8)$$

$Wmax$ dan $Wmin$ adalah koefisien *inertia weight* makismal dan minimal, $itdna$ $itmax$ adalah iterasi yang sedang berlangsung dan nilai maksimal dari ietarsi yang digunakan, Wit adalah *inertia weight* pada iterasi saat ini. Variasi ini

merupakan pengembangan dari metode yang dikembangkan oleh J. Kennedy dan R. Eberhart (Wicaksono, dk., 2016: 152).

Setiap partikel akan mempresentasikan partikel dari permasalahan yang dihadapi. Oleh karena itu, partikel akan mencari solusi yang optimal dengan melakukan penyesuaian terhadap posisi terbaik dari setiap partikel tersebut (Pbest) dan posisi partikel terbaik dari seluruh kawanan (Gbest) selama menuju ruang pencarian solusi. Berikutnya proses pencarian dilakukan untuk mencari posisi terbaik setiap partikel dalam jumlah iterasi tertentu sampai didapatkan posisi relatif tetap (*steady*). Setiap iterasi, pencarian untuk posisi yang optimal dilakukan dengan memperbaharui kecepatan dan posisi partikel. Pada setiap iterasi, solusi yang diperlihatkan dari posisi partikel akan dievaluasi dengan memasukkan solusi ke dalam nilai fitness (Herditomo, dkk., 2014: 29 dan Ramdhani, 2016: 3).

Pencarian jalur terpendek dengan metode PSO tergantung dari parameter-parameter yang dimasukkan karena semakin besar parameter yang diberikan akan membutuhkan waktu yang lebih lama. Banyaknya parameter yang dimasukkan seperti iterasi dan partikel akan sangat menentukan kesuksesan pencarian jalur terpendek (M Fuady, dkk., 2011: 5).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2020-Maret 2021 di Laboratorium Kimia Organik Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

a. Hardware

Penelitian ini menggunakan perangkat keras berupa *Processor Intel*® *Core*™ i3-2370M CPU @ 2,40GHz, RAM 2,00 GB

b. Software

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak berupa SONY (Windows 8 Singel Language © 2012 Microsoft Corporation 64-bit), Matlab R2015a Corporation 35-bit dan R2020a Corporation 64-bit, Windows 10 Pro ©2016 Microsoft Corporation 64-bit dan Microsoft Office Excel Professional @2010 dan @ 2013.

2. Bahan

Bahan yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari penelitian Niju, dkk. (2019) yaitu proses transesterifikasi minyak kelor (*Moringa oleifera* L.) menggunakan variabel bebas konsentrasi katalis (1,32; 2; 3; 4; 4,68 % berat), rasio volumetrik metanol terhadap minyak (0,16; 0,3; 0,5; 0,7; 0,84 vol / vol) dan waktu reaksi (69,55; 90; 120; 150; 170,45 menit).

C. *Prosedur Kerja*

1. *Generate Data RSM (Niju, 2019)*

Generate data RSM (Niju, 2019) dengan metode *Central Composite Design* (CCD) menggunakan aplikasi Matlab R2020a. Aplikasi ini membuat rancangan penelitian dengan menginput data sekunder, berupa variabel bebas dari penelitian Niju, dkk. (2019) pada *command windows* Matlab R2020a sehingga diperoleh rancangan penelitian. Setelah itu, perintah dari *command windows* di *run* agar diperoleh data desain penelitian berupa reaksi (A, B dan C) secara random sebanyak 17 kali *run*. Setelah itu, nilai konversi metil ester hasil penelitian di input pada perintah *e_out* (keluaran) sehingga diperoleh data desain Niju, dkk. (2019).

2. *Optimasi RSM*

Data *generate RSM* berupa desain eksperimen seperti pada penelitian Niju, dkk. (2019). Kemudian untuk menghasilkan model teoritis, maka prompt perintah yang dapat tulis pada *command windows* adalah :

```
% generate the theoretical model
stat_out = regstats(e_out, react, 'quadratic');
```

Perintah *regstats* adalah diagnosa regresi yang akan mengambil input data reaksi (A, B dan C) dan *e_out* (nilai konversi biodiesel penelitian). Sehingga diperoleh model regresi dengan jenis dependabilitas (kuadrat). Untuk output dari perintah ini dapat dilihat pada *stat_out*. *Stat_out* meliputi data (*r*, *Mse*, *rsquare* (R^2), *adjrsquare*).

Data yang akan menjadi fokus pada output ini adalah berupa data Mean squared error (Mse), rsquare (R^2) dan adjusted square dan nilai koefisien determinasi (R^2). Model akan dikatakan memiliki probabilitas lebih baik dari fit apabila nilai $\text{adjusted-}R^2 > R^2$.

Penelitian ini dapat menghasilkan nilai koefisien regresi yang dapat dilihat pada jendela perintah Matlab data `stat_out.beta`. Perintah tersebut dapat ditulis sebagai berikut: Data tersebut digunakan dalam menulis model persamaan kuadratik yakni sebagai berikut:

```
% persamaan akhir
rsm_out(i) = stat_out.beta(1) + stat_out.beta(2) * react
            i,1) + ...
            stat_out.beta(3) * react (i,2) + stat_out.beta(4) * react
            (i,3) + ...
            stat_out.beta(5) * react (i,1) * react (i,2) + ...
            stat_out.beta(6) * react (i,1) * react (i,3) + ...
            stat_out.beta(7) * react (i,2) * react (i,3) + ...
            stat_out.beta(8) * (react (i,1)).^2 + ...
            stat_out.beta(9) * (react (i,2)).^2 + ...
            stat_out.beta(10) * (react (i,3)).^2;
```

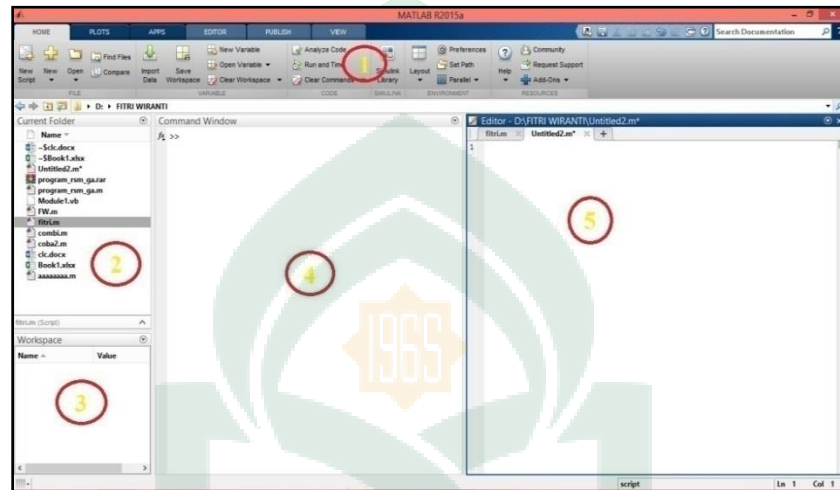
Terakhir untuk menampilkan plot regresi hasil RSM yakni dengan cara menginput nilai `e_out` (konversi biodiesel penelitian) dengan nilai `rsm_out` (konversi biodiesel prediksi) pada perintah Matlab yakni sebagai berikut:

```
plotregression(e_out,rsm_out,'RSM')
```

2. Optimasi PSO

2.1 Pengoperasian Matlab

Tampilan layar utama Matlab R2015a gambar 3.1. Adapun toolbar dan fungsinya yaitu seperti dibawah ini:



Gambar 3.1 Tampilan Layar Utama MATLAB R2015a

- Toolstrip* berfungsi sebagai tempat tombol-tombol perintah.
- Current Folder* (folder terkini) berfungsi sebagai tempat mengakses berbagai file dalam direktori terkini yang sedang digunakan.
- Workspace* (jendela ruang kerja) berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian matlab
- Command Window* (jendela perintah) berfungsi untuk menuliskan perintah dalam bentuk sintaks program. Tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan variabel, menjalankan proses-proses, serta melihat isi variabel.
- Editor berfungsi untuk membuat M-file yang akan digunakan untuk membuat program yang dijalankan oleh Matlab.

2.2. Tahapan PSO

Prosedur tahapan algoritma PSO dalam pemuatan program (M-file/sintaks) sebagai berikut:

- a. Menetapkan nilai setiap parameter seperti jumlah partikel (N), dimensi partikel (D), batasan variabel (X_{\max} - X_{\min}), iterasi maksimum (k), koefisien akselerasi (c1-c2) dan batasan bobot inersia (W_{\max} - W_{\min}) seperti di bawah ini.

```
% parameter PSO
N = 10;           %jumlah partikel
D = 3;           %dimensi partikel
Amin = 1.32;      %nilai minimum konsentrasi katalis
Amax = 4.68;      %nilai maximum konsentrasi katalis
Bmin = 0.16;      %nilai minimum rasio volumetrik
                  metanol:minyak
Bmax = 0.84;      %nilai maximum rasio volumetrik
                  metanol:minyak
Cmin = 69.55;     %nilai minimum waktu reaksi
Cmax = 170.45;    %nilai maximum waktu reaksi
c1 = 1;           %coognitive learning
c2 = 1;           %sosial learning
kmax = 500;       %jumlah itersi maksimum
Wmax = 0.9;       %nilai maksimum bobot inersi
Wmin = 0.4;       %nilai minimum bobot inersia
% W=0.1;
```

- b. Menginisialisasi dan membangkitkan posisi awal secara random menggunakan batas atas (X_{\max}) dan batas bawah (X_{\min}) dari design variabel menggunakan persamaan 2.4.
- c. Menginisialisasi dan membangkitkan kecepatan awal secara random menggunakan batas atas (X_{\max}) dan batas bawah (X_{\min}) dari design variabel dengan persamaan 2.5 untuk kecepatan awal diset nol sebagai berikut.

```
%% Inisialisasi Posisi Partikel Secara Random
for i=1:N
    X(i,1)=3;
    X(i,2)=0.16;
    X(i,3)=120;    %membangkitkan posisi awal partikel
end
X;
V=zeros(N,D);
Pbest=X;
```

- d. Mengiterasi pertama dimulai
- e. Mengevaluasi fungsi fitness berdasarkan posisi yang diinginkan. Evaluasi tersebut berujuan untuk mengoptimalkan variabel bebas pada setiap partikel. Proses evaluasi dilakukan berdasarkan posisi untuk setiap partikel. Setiap posisi baru partikel memberikan nilai fungsi fitness yang berbeda dengan respon yang diterima atau tidak. Fungsi fitness (Y) dapat dilihat di bawah ini.

```

%% Evaluasi Fitness
for i=1:N
    Y(i,1)=108.2286+17.21502*X(i,1)-
        175.893*X(i,2)+0.59051*X(i,3)...-
        17.0765*X(i,1)*X(i,2)-
        0.17176*X(i,1)*X(i,3)+0.48046*X(i,2)*X(i,3)...
        +3.017163*X(i,1)^2+140.5889*X(i,2)^2+0.00424*X(i,3)^2;
end
Y;

```

- f. Memperbarui nilai terbaik partikel dan kumpulan Pbest dan Gbest. Membandingkan evaluasi fitness untuk partikel Pbest yang lama dan baru. Jika nilai fitness lebih besar dari Pbest sebelumnya maka Pbest yang baru diset dengan nilai X sesuai urutan partikel dalam iterasi. Sedangkan Gbest diset berdasarkan nilai Pbest yang paling baik tanpa melihat urutan fitness dari partikel disetiap iterasi. Nilai X berdasarkan nilai Gbest sebagai berikut.

```

%% Personal Best
if k==1
    Pbest=X;
    fPbest=Y;
else
    for i= 1:N
        if Y(i)>fPbest(i)
            Pbest(i)=X(i);
            fPbest(i)=Y(i);
        end
    end
end
%% Global Best
[fGbest,Partikel]=max(fPbest);
Gbest2=Pbest(Partikel,:);

```

```

for i=1:N
    Gbest(i,:)= Gbest2;
end

```

- g. Jika hasil belum konvergen maka melakukan iterasi selanjutnya sampai batas iterasi maksimum yang ditentukan seperti di bawah ini.

```

%% Iterasi
if k < kmax
    k=k+1;
else
    break
end

```

- h. Memperbarui nilai *velocity* (kecepatan) untuk semua partikel menggunakan nilai fungsi fitness menggunakan persamaan 2.6. Dari nilai fitness dapat ditentukan partikel mana yang memiliki nilai Gbest pada *swarm*. Perumusan update kecepatan mencakup beberapa parameter random untuk mendapatkan nilai yang baik. Tiga parameter yang mempengaruhi arah pencarian yaitu bobot inersia (w), koefisien akselerasi (c_1 - c_2) dan nilai random (r_1 - r_2) sebagai berikut.

```

%% Update Kecepatan (V)
V=(W*V)+(c1*rand())*(Pbest-X)+(c2*rand())*(Gbest-X);
end
V

```

- i. Memperbarui nilai posisi tiap partikel dengan vektor *velocity* dengan persamaan 2.8 sebagai berikut.

```

%% Update Posisi (X)
X= X+V;
for i=1:N
    if X(i,1)>Amax
        X(i,1)=Amax;
        X(i,2)=X(i,2);
        X(i,3)=X(i,3);
    elseif X(i,1)<Amin
        X(i,1)=Amin;
        X(i,2)=X(i,2);
        X(i,3)=X(i,3);
    elseif X(i,2)>Bmax
        X(i,2)=Bmax;

```

```

X(i,1)=X(i,1);
X(i,3)=X(i,3);
elseif X(i,2)<Bmin
X(i,2)=Bmin;
X(i,1)=X(i,1);
X(i,3)=X(i,3);
elseif X(i,3)>Cmax
X(i,3)=Cmax;
X(i,1)=X(i,1);
X(i,2)=X(i,2);
elseif X(i,3)<Cmin
X(i,3)=Cmin;
X(i,1)=X(i,1);
X(i,2)=X(i,2);
end
end

```

- j. Mengidentifikasi sampai kriteria kekonvergenan terpenuhi agar menghindari penambahan fungsi evaluasi setelah solusi optimum didapatkan.

3. Perbandingan Hasil Optimasi RSM-PSO

Perbandingan hasil optimasi RSM dan PSO dapat dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien korelasi (R) dan nilai optimum metil ester (%) yang dihasilkan dari persamaan di bawah ini.

Y = value pertama (konstanta) + value kedua \times reaksi (1) - value ketiga \times reaksi (2) - value keempat \times reaksi (3) - value kelima \times reaksi (1) \times reaksi (2) - value keenam \times reaksi (1) \times bereaksi (3) - value ketujuh \times bereaksi (2) \times bereaksi (3) + value kedelapan \times bereaksi (1)² + value kesembilan \times bereaksi (2)² + value kesepuluh \times bereaksi (3)².

$$Y = 171,2483 + 7,4225A - 228,4830B - 1,2139C - 15,2183AB - 0,02380AC - 0,4485BC + 1,5575A^2 + 190,8069B^2 + 0,0051C^2$$

M A K A S S A R

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Generate Data RSM

a) Tabel Pengamatan

Berikut adalah tabel variabel bebas yang digunakan dalam rancangan penelitian RSM pemodelan CCD untuk memperoleh perbandingan *generate* sehingga menghasilkan data sebanyak 17 kali *run*. Data tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.1 Variabel Bebas

Kode	Nama	Unit	Level				
			$-α$	-1	0	+1	$+α$
A	Konsentrasi Katalis	%w	1,32	2	3	4	4,68
B	Rasio Metanol	vol/vol	0,16:1	0,3:1	0,5:1	0,7:1	0,84:1
C	Waktu Reaksi	Menit	69,55	90	120	150	170,45

Tabel 4.2 Perbandingan Data Konversi Biodiesel

Run	Katalis (%)	Rasio Metanol (vol/vol)	Waktu Reaksi (Menit)	Konversi Biodiesel Ekperimen (%) (Niju, dkk., 2019)	Konversi Biodiesel RSM (%) (Hasil Generate RSM)
1	2	0,3	90	74,23	74,23
2	2	0,3	150	78,66	78,66
3	2	0,7	90	62,11	62,11
4	2	0,7	150	77,19	77,19
5	4	0,3	90	93,68	93,68
6	4	0,3	150	95,14	95,14
7	4	0,7	90	69,22	69,22
8	4	0,7	150	81,56	81,56
9	1,32	0,5	120	56,49	56,49
10	4,68	0,5	120	79,21	79,21
11	3	0,16	120	94,42	94,42
12	3	0,84	120	76,65	76,65
13	3	0,5	69,55	65,98	65,98
14	3	0,5	170,45	86,99	86,99
15	3	0,5	120	64,53	64,53
16	3	0,5	120	65,22	65,22
17	3	0,5	120	63,95	63,95

2. Optimasi RSM

a) Tabel Pengamatan

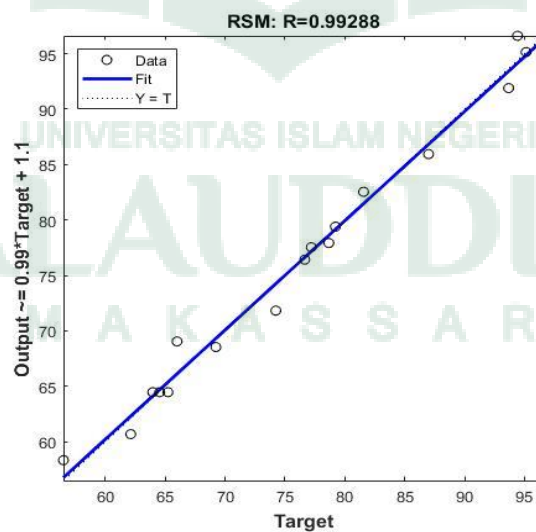
Berikut adalah tabel hasil prediksi konversi biodiesel yang diperoleh pada metode RSM sebagai berikut:

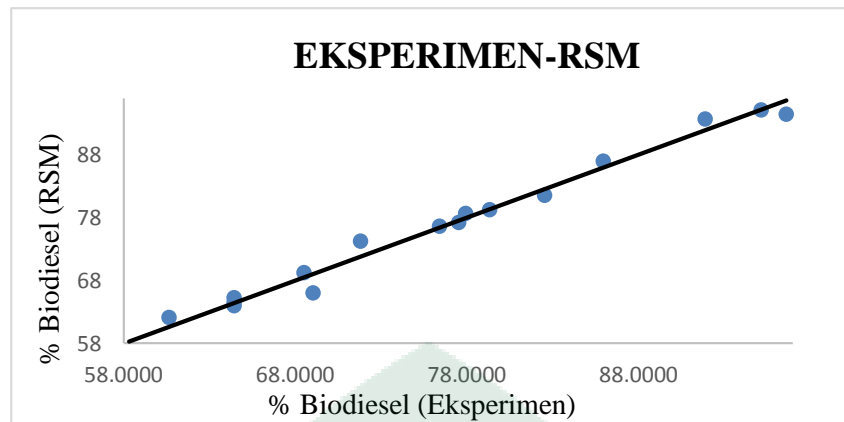
Tabel 4.3 Hasil Konversi Biodiesel Prediksi RSM

Run	A: Katalis (%)	B: Rasio Metanol (vol/vol)	C: Waktu Reaksi (menit)	Konversi Biodiesel RSM (%)
1	2	0,3	90	71,82
2	2	0,3	150	77,92
3	2	0,7	90	60,67
4	2	0,7	150	77,53
5	4	0,3	90	91,90
6	4	0,3	150	95,14
7	4	0,7	90	68,53
8	4	0,7	150	82,54
9	1,32	0,5	120	58,32
10	4,68	0,5	120	79,39
11	3	0,16	120	96,61
12	3	0,84	120	76,42
13	3	0,5	69,55	69,04
14	3	0,5	170,45	85,94
15	3	0,5	120	64,46
16	3	0,5	120	64,46
17	3	0,5	120	64,46

Tabel 4.4 Perbandingan Konversi Biodiesel Eksperimen dan Prediksi RSM

Run	A: Katalis (%)	B: Rasio Metanol (vol/vol)	C: Waktu Reaksi (Menit)	Konversi Biodiesel Eksperimen (%)	Konversi Biodiesel RSM (%)
1	2	0,3	90	74,23	71,82
2	2	0,3	150	78,66	77,92
3	2	0,7	90	62,11	60,67
4	2	0,7	150	77,19	77,53
5	4	0,3	90	93,68	91,90
6	4	0,3	150	95,14	95,14
7	4	0,7	90	69,22	68,53
8	4	0,7	150	81,56	82,54
9	1,32	0,5	120	56,49	58,32
10	4,68	0,5	120	79,21	79,39
11	3	0,16	120	94,42	96,61
12	3	0,84	120	76,65	76,42
13	3	0,5	69,55	65,98	69,04
14	3	0,5	170,45	86,99	85,94
15	3	0,5	120	64,53	64,46
16	3	0,5	120	65,22	64,46
17	3	0,5	120	63,95	64,46

b) Grafik**Gambar 4.1** Nilai Regresi RSM



Gambar 4.2 Perbandingan Nilai Eksperimen-RSM

3. Optimasi PSO

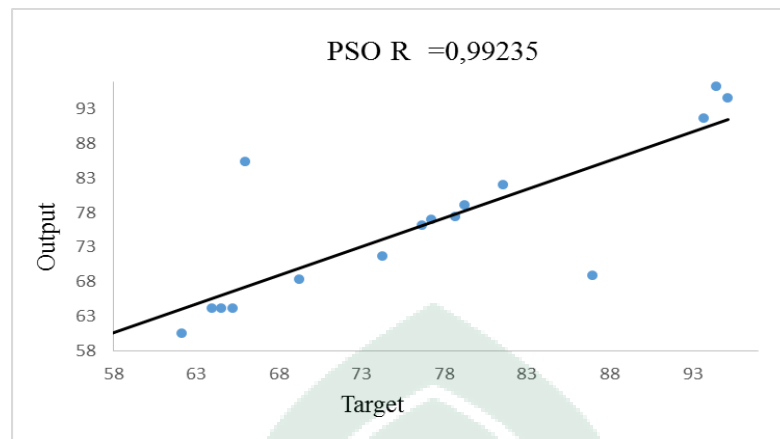
a) Tabel Pengamatan

Berikut adalah tabel hasil optimasi PSO yang menggunakan persamaan kuadrat dari proses optimasi RSM dengan melibatkan tiga jenis partikel dengan jumlah iterasi sebanyak 500 kali.

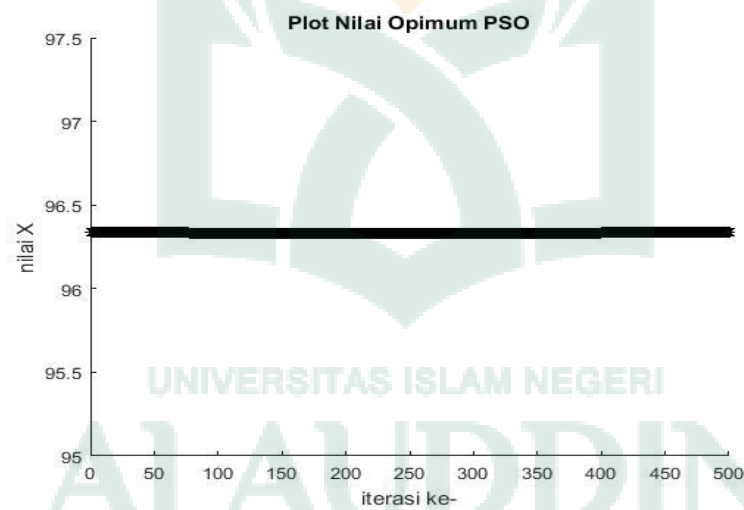
Tabel 4.5 Perbandingan Konversi Biodiesel Eksperimen dan Prediksi PSO

Run	A: Katalis (%)	B: Rasio Metanol (vol/vol)	C: Waktu Reaksi (menit)	Konversi Biodiesel Eksperimen (%)	Konversi Biodiesel PSO (%)
1	2	0,3	90	74,23	71,66
2	2	0,3	150	78,66	77,48
3	2	0,7	90	62,11	60,51
4	2	0,7	150	77,19	77,10
5	4	0,3	90	93,68	91,74
6	4	0,3	150	95,14	94,71
7	4	0,7	90	69,22	68,37
8	4	0,7	150	81,56	82,10
9	1,32	0,5	120	56,49	58,04
10	4,68	0,5	120	79,21	79,11
11	3	0,16	120	94,42	96,34
12	3	0,84	120	76,65	76,14
13	3	0,5	69,55	65,98	85,38
14	3	0,5	170,45	86,99	68,94
15	3	0,5	120	64,53	64,18
16	3	0,5	120	65,22	64,18
17	3	0,5	120	63,95	64,18

b) Grafik



Gambar 4.3 Nilai Regresi PSO



Gambar 4.4 Nilai Optimum Algoritma PSO dengan kmax= 500

4. Perbandingan Optimasi RSM-PSO

Berikut adalah tabel perbandingan yang diperoleh antara optimasi RSM dengan optimasi PSO.

Tabel 4.6 Perbandingan Optimasi RSM dan PSO

No	Metode	Koefisien Korelasi (R)	Nilai Optimum
1	RSM	0,99288	96,61
2	PSO	0,99235	96,34

B. Pembahasan

Prinsip utama dalam pemodelan optimasi yakni dengan menentukan solusi terbaik yang optimal (minimum/maksimum) dengan memodelkan melalui fungsi objektif. Masalah optimasi dibagi menjadi dua yakni masalah optimasi tanpa batas dan masalah optimasi dengan batas. Perbedaan dari kedua masalah tersebut terdapat pada ada atau tidaknya batasan-batasan dari fungsi objektif (Haquey, dkk., 2016: 63-64). Penelitian ini termasuk ke dalam masalah optimasi dengan kendala karena memiliki batasan variabel dari data sekunder penelitian Niju, dkk. (2019) dengan mengkombinasi metode optimasi antara RSM dan PSO.

1. Generate Data RSM

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari penelitian RSM Niju, dkk. (2019). Terdapat dua variabel yang digunakan yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas terdiri atas konsentrasi katalis, rasio metanol dan waktu reaksi sedangkan variabel terikatnya adalah metil ester. Variabel bebas memiliki beberapa level seperti level rendah, menengah dan tinggi. Level konsentrasi antara 1,32-4,68%, level rasio metanol antara 0,16-0,84 v/v dan level waktu reaksi antara 69,55-170,45 menit seperti yang terlihat pada Tabel 4.1. Level variabel bebas yang

digunakan, sehingga diperoleh data eksperimen konversi metil ester dari penelitian Niju, dkk. (2019) seperti yang dilihat pada Tabel 4.2.

Hasil *generate* data nilai konversi metil ester tertinggi pada penelitian ini sebesar 95,14% dengan konsentrasi katalis 4%, rasio pelarut (metanol dengan minyak) 0,3 vol/vol dan waktu reaksi 120 menit. Adapun nilai konversi metil ester terendah pada penelitian ini sebesar 56,49% dengan kondisi konsentrasi katalis 1,32%, rasio pelarut (metanol dengan minyak) 0,5 vol/vol dan waktu reaksi 120 menit.

Generate data eksperimen pada Tabel 4.2 terdapat persamaan *output* pemodelan dari hasil penelitian eksperimen pada Niju, dkk. (2019). Hasil *generate* dan eksperimen menunjukkan tidak adanya pengaruh penggunaan aplikasi matematis. Penelitian yang dilakukan oleh Niju, dkk. (2019) menggunakan aplikasi *Design Expert* versi 11 *stat-ease Inc* sedangkan proses *generate* data eksperimen pada penelitian ini menggunakan jenis aplikasi Matlab versi R2020a.

2. Optimasi RSM

Penelitian ini menggunakan data *run* dan reaksi pada Tabel 4.2 sehingga menghasilkan data pada Tabel 4.3. Data pada tabel 4.3 digunakan sebagai nilai konstanta untuk persamaan kuadrat. Persamaan kuadrat ini akan digunakan dalam memprediksi respon variabel bebas yaitu konsentrasi katalis, rasio pelarut (metanol dengan minyak) dan waktu reaksi terhadap variabel terikat yaitu konversi biodiesel (metil ester).

Model matematis dari persamaan kuadrat diperoleh sebagai berikut:

$$Y = 171,2483 + 7,4225A - 228,4830B - 1,2139C - 15,2183AB - 0,02380AC - 0,4485BC + 1,5575A^2 + 190,8069B^2 + 0,0051C^2$$

Keterangan:

Y = Konversi metil ester (Biodiesel) (%)

A = Konsentrasi Katalis (persen berat)

B = Rasio volumetrik methanol (vol/vol)

C = Waktu reaksi (menit)

Nilai konversi yang diperoleh pada Tabel 4.3 menunjukkan adanya pengaruh interaksi antara parameter terhadap reaksi transesterifikasi. Jumlah katalis sangat mempengaruhi pembentukan metil ester (biodiesel). Penambahan katalis yang berlebih tidak menyebabkan penambahan *yield* biodiesel karena terdapat batasan suatu reaktan untuk bereaksi sehingga apabila penambahan katalis secara terus menerus namun reaktan sudah jenuh bereaksi maka tidak dapat menghasilkan produk lagi (Ramirez, dkk., 2021: 4). Peningkatan konsentrasi katalis diatas 4% mengakibatkan adanya penurunan nilai konversi metil ester (Niju, dkk., 2019: 767). Hal ini akibat dari penurunan difusi campuran reaksi (katalis dan rasio pelarut) (Gohain, dkk., 2020) yang akan berdampak pada massa kecepatan reaktan permukaan katalis (Hayati, dkk., 2017: 3).

Rasio pelarut metanol salah satu parameter terpenting yang mempengaruhi konsentrasi *yield* dalam pembuatan biodiesel (Irawan, dkk., 2019: 272). Umumnya rasio stoikiometri molar pelarut menjadi minyak dalam reaksi transesterifikasi adalah 3:1. Fungsi pelarut metanol yakni untuk meningkatkan kontak antara trigliserida dan molekul pelarut serta meningkatkan daya larut. Namun rasio dapat berubah tergantung pada keasaman minyak (Aslan dan Erylmaz, 2020: 7). Penggunaan perbandingan mol yang lebih tinggi antara pelarut dan minyak menyebabkan proses pemisahan gliserol semakin sulit. Hal tersebut dikarenakan terjadi peningkatan kelarutan gliserol di dalam pelarut yang digunakan. Sehingga penggunaan metanol dalam jumlah kecil lebih

menguntungkan daripada penggunaan metanol dalam jumlah besar karena tidak mempengaruhi hasil yang signifikan (Devitria, dkk., 2013: 42). Selain itu, penggunaan metanol dalam jumlah besar secara signifikan mengakibatkan terjadinya penurunan konsentrasi katalis dalam larutan (Mendow, 2011).

Berdasarkan hasil persamaan kuadrat di atas diperoleh nilai konversi biodiesel RSM 58,32%-96,61% pada Tabel 4.4. Nilai konversi terendah sebesar 58,32% dengan kondisi konsentrasi katalis 1,32%, rasio metanol dengan minyak 0,5 vol/vol dan waktu reaksi 120 menit. Nilai konversi biodiesel tertinggi diperoleh sebesar 96,61% dengan kondisi konsentrasi katalis 3%, metanol dengan rasio volumetrik minyak 0,16 vol/vol dan waktu reaksi 120 menit.

Penelitian Niju., dkk. (2019) memperoleh nilai konversi metil ester eksperimen sebesar 56,98% - 95,14% yang dapat dilihat pada Tabel 4.4. Nilai konversi metil ester eksperimen terendah diperoleh dengan kondisi konsentrasi katalis 1,32%, rasio pelarut (metanol dengan minyak) 0,5 vol/vol dan waktu reaksi 120 menit. Nilai konversi tertinggi diperoleh pada kondisi konsentrasi katalis 4%, rasio pelarut (metanol dengan minyak) 0,3 vol/vol dan waktu reaksi 150 menit.

Perbedaan hasil konversi pada Tabel 4.4 disebabkan oleh jenis metode yang digunakan. Masing-masing jenis metode menawarkan solusi dan pemodelan yang berbeda. Adanya faktor yang dapat mempengaruhi hasil pada penelitian terletak pada perbedaan metode eksperimen konvensional dan metode optimasi menggunakan aplikasi. Metode konvensional menggunakan rancangan penelitian dengan cara pengambilan data secara menyeluruh, hal ini yang menyebabkan metode ini sangat sensitif terhadap berbagai faktor. Faktor yang mempengaruhi seperti biaya yang digunakan, perlengkapan, faktor kesalahan manusia, serta kondisi operasional sehingga kemungkinan akan diperoleh hasil kurang maksimal. Sedangkan metode

optimasi menggunakan aplikasi menawarkan pemodelan dan solusi lebih baik. Solusi yang digunakan berupa proses maupun produk bersifat stabil terhadap berbagai gangguan sehingga diperoleh solusi optimal yang sesuai dengan prediksi parameter terhadap respon (Laluce, dkk., 2009).

3. Optimasi PSO

Metode optimasi PSO sebagai salah satu metode optimasi yang dapat digunakan untuk menentukan parameter-parameter proses yang menghasilkan nilai respon yang optimum (Sateria, dkk., 2018: 4). Parameter yang digunakan antara lain jumlah partikel, dimensi partikel, batasan variabel, iterasi maksimal, koefisien korelasi dan batasan bobot inersia. Fungsi parameter membantu mencapai kriteria konvergen, sehingga diperoleh solusi terbaik (Sateria, dkk., 2018:5). Pada penelitian ini menggunakan 3 jenis partikel dengan jumlah iterasi sebanyak 500. Setiap iterasi posisi partikel akan semakin mengarah ke target nilai fungsi. Jumlah partikel berbanding terbalik dengan iterasi yang digunakan. Semakin banyak jumlah partikel, maka iterasi yang dibutuhkan untuk mencari solusi semakin sedikit. Tingkat kesuksesan tidak terlalu dipengaruhi oleh jumlah partikel (Darmawan dan Antonius, 2017: 38).

Dari proses optimasi RSM maka diperoleh persamaan kuadrat yang digunakan sebagai nilai fungsi PSO adalah sebagai berikut:

$$Y = 171,2483 + 7,4225A - 228,4830B - 1,2139C - 15,2183AB - 0,02380AC - 0,4485BC + 1,5575A^2 + 190,8069B^2 + 0,0051C^2$$

Hasil prediksi dari optimasi PSO diperoleh nilai sebesar 58,04%-96,34% pada Tabel 4.5. Nilai konversi terendah sebesar 58,04% dengan kondisi konsentrasi katalis 1,32%, rasio metanol dengan minyak 0,5 vol/vol dan waktu reaksi 120 menit. Nilai konversi biodiesel tertinggi diperoleh sebesar 96,34% dengan kondisi konsentrasi katalis 3%, metanol dengan rasio volumetrik minyak 0,16 vol/vol dan waktu reaksi

120 menit. Sedangkan pada penelitian Niju, dkk. (2019) memperoleh nilai konversi metil ester eksperimen berkisar antara 56,49%-95,14%.

Perbandingan nilai konversi metil ester antara hasil eksperimen dengan hasil prediksi PSO dapat dilihat pada Tabel 4.5. Nilai prediksi dari optimasi PSO lebih tinggi dibandingkan dengan nilai konversi eksperimen. Hal ini disebabkan setiap partikel di dalam PSO berhubungan dengan *velocity*. Partikel-partikel tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan *velocity* dinamis yang disesuaikan menurut perilaku historisnya. Oleh karena itu, partikel akan memiliki kecenderungan untuk bergerak ke wilayah pencarian yang lebih baik setelah melewati proses penelusuran (Tuegeh, dkk., 2009: 85).

4. Perbandingan Optimasi RSM-PSO

Berdasarkan perbandingan nilai optimasi dari Tabel 4.6 nilai koefisien korelasi RSM sebesar 0,99288 dengan nilai optimum sebesar 96,61%. Nilai koefisien korelasi PSO sebesar 0,99235 dengan nilai optimum 96,34%. Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan dengan melihat hasil konversi metil ester didapatkan nilai tertinggi pada metode RSM. Hal ini disebabkan karena masih ada kekurangan yang dimiliki oleh algoritma PSO seperti mudah mengalami optimasi yang parsial sehingga mengakibatkan kurang tepatnya pengaturan terhadap kecepatan dan posisi. Ketika algoritma PSO sudah mendekati solusi akhir maka algoritma tidak akan mampu menemukan ruang solusi yang baru. Peristiwa tersebut yang memungkinkan PSO akan terjebak dalam menemukan ruang solusi lokal optimum (Wang, dkk., 2013).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kondisi optimum metode RSM diperoleh pada konsentrasi katalis 3%, rasio metanol dengan minyak 0,16 v/v dan waktu reaksi selama 120 menit dengan nilai konversi biodiesel (metil ester) sebesar 96,61%. Kondisi optimum PSO memperoleh biodiesel (metil ester) sebesar 96,34% pada konsentrasi katalis 3%, rasio metanol dengan minyak 0,16 v/v dan waktu reaksi berjalan selama 120 menit.
2. Berdasarkan hasil optimasi biodiesel menggunakan metode RSM diperoleh nilai optimum 96,61% dengan koefisien R sebesar 0,99288 sedangkan PSO diperoleh nilai optimum 96,34% dengan koefisien R sebesar 0,99235.

B. Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya yakni menggabungkan PSO dengan *Evolutionary Algorithm* dengan menggunakan operasi *cross mutated* untuk mendapatkan hasil optimasi baru yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Qur'an nul Karim

- Acharya, dkk. "A Comparative Study of Stability Characteristics of Mahua and Jatropha Biodiesel and Their Blends". *Engineering Sciences*, no. 31 (2019): h. 184-190.
- Achyani, Yuni Eka. "Penerapan Metode Particle Swarm Optimization Pada Optimasi Prediksi Pemasaran Langsung". *Informatika* 5, no. 1 (2018): h. 1-11.
- Ahmad, dkk. "Optimization of Process Variables for Biodiesel Production by Transesterification of Flaxseed Oil and Produced Biodiesel Characterizations". *Renewable Energy*, no. 139 (2019): h. 1272-1280.
- Akolo dan Azis. "Peningkatan Mutu Ikan Roa (*Hemiramphus* sp.) Asap dengan Response Surface Method-Central Composite". *Teknologi Hasil Pertanian* 7, no. 2 (2016): hal. 64-71.
- Aminah, Syarifah dkk., "Kandungan Nutrisi dan Sifat Fungsional Tanaman Kelor (*Moringa oleifera*)". *Bulletin Pertanian Perkotaan* 5, no. 2 (2015): h. 35-44.
- Apriliyanti, dkk., "Optimasi Perlakuan Pendahuluan dan Pengeringan Untuk Meningkatkan Betasianin Teh Kulit Buah Naga". *RISTEDIKTI*. (2017): h. 225-230.
- Aritonang, Agustino Leonard Pardamean. "Analisis Metode *Response Surface* pada Produksi Biodiesel secara Katalitik dengan *Static Mixing Reactor*". *Skripsi*. Bandung: Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, 2014.
- Ariwibowo, dkk. "Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis Padat Ramah Lingkungan K₂O/CaO-ZnO". *Teknik* 40, no. 3 (2019): hal. 136-141.
- Aslan, Volkan dan Tanzer Eryilmaz. "Polynomial Regression Method for Optimization of Biodiesel Production from Black Mustard (*Brassica nigra* L.) Seed Oil using Methanol, Ethanol, NaOH and KOH". *Energy*, no. (2020): h. 1-14.
- Aydin, dkk. "Performance and Emission Prediction of a Compression Ignition Engine Fueled with Biodiesel-Diesel Blends: A Combined Application of ANN and RSM Based Optimization". *Fuel*, no. 269 (2020): h. 1-10.
- Azad, dkk. "Prospect of Moringa seed oil as a sustainable biodiesel fuel in Australia: A review". *Procedia Engineering*, no. 105 (2015): h. 601-606.
- Dehghan, dkk. "Optimization of microwave-assisted accelerated transesterification of inedible olive oil for biodiesel production". *Renewable Energy*, no. 139 (2019): h. 915-922.
- Devitria, dkk. "Sintesis Biodiesel dengan Katalis Heterogen Lempung Cengar yang Diaktivasi dengan NaOH: Pengaruh Waktu Reaksi dan Rasio Molar Minyak: Metanol". *J. Ind. Che. Acta* 3, no. 2 (2013): h.39-44.

- Duweini, Muhammad dan Riza Trihaditia. "Penentuan Formulasi Optimum Pembuatan Minuman Fungsional dari Bunga Rosella (*Hibiscus Sabdariffa* L.) dengan Penambahan Bawang Dayak (*Eleutherine Palmifolia* (L) Merr.) Menggunakan Metode RSM (*Response Surface Method*)". *Agroscience* 7, no. 2 (2017): h. 234-248.
- Dwita, dkk. "Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Alpukat (*Persea americana*) Melalui Proses Transesterifikasi Langsung". *Riset Sains dan Kimia Terapan* 8, no. 1 (2019): h. 23-28.
- Efendi, dkk. "Aplikasi Pencarian Titik Lokasi Fasilitas Kesehatan Terdekat Menggunakan Metode Asynchronous Particle Swarm Optimzation Berbasis Webview Android (Studi Kasus: Kota Bengkulu)". *Teknik Informatika* 1, no. 1 (2016): h. 1-13.
- Fanny, dkk. "Pengembangan Katalis Kalsium Oksida untuk Sintesis Biodiesel". *Teknik Kimia Indonesia* 11, no. 2 (2012): h. 66-73.
- Fayazzi, dkk. "An ultrasound-assisted system for the optimization of biodiesel production from chicken fat oil using a genetic algorithm and response surface methodology". *Ultrasonic Sonochemistry*, no. 26 (2015): h. 312-320.
- Fernandes, dkk. "*Moringa oleifera*: A potential source for production of biodiesel and antioxidant additives". *Fuel*, no. 146 (2015): h. 75-80.
- Fernandes, dkk. "Corrosive character of *Moringa oleifera* Lam biodiesel exposed to carbon steel under simulated storage conditions". *Renewable Energy*, no. 139 (2019): h. 1263-1271.
- Gohain, dkk. "Ultrasound-Assisted Production of Biodiesel using Engineered Methanol Tolerant *Proteus vulgaris* Lipase Immobilized on Functionalized Polysulfone Beads". *Ultrasonics-Sonochemistry*, no. 68 (2020): 1-8.
- Hambali, dkk. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: AgroMedia Pustaka, 2007.
- Harimurti, Niken dan Djajeng Sumangat. "Pengolahan Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) Menjadi Sumber Bahan Bakar Nabati dan Pemanfaatan Produk Samping". *Teknologi Pascapanen Pertanian* 7, no. 1 (2011): h. 48-55.
- Hasni, dkk. "Optimization of Biodiesel Production from *Brucea javanica* Seeds Oil as Novel Non Edible Feedstock Using Response Surface Methodology". *Energy Conversion and Management*, no. 149 (2017): h. 392-400.
- Haquey, dkk. "Uji Komputasi Algoritme Varian Metode Newton pada Permasalahan Optimasi Nonlinear Tanpa Kendala". *JMA* 15, no.2 (2016): h. 63-76.
- Herditomo, dkk. "Penerapan Metode Hybrid Fuzzy C-Means dan Particle Swarm Optimization (FCM-PSO) untuk Segmentasi Citra Geografis". *EECCIS* 8, no. 1 (2014): h. 27-32.
- Hoseini, dkk. "*Ailanthus altissima* (tree of heaven) seed oil: Characterisation and optimisation of ultrasonication-assisted biodiesel production". *Fuel*, no. 220 (2018): 621-630.
- Huda, Ahmad Yasir. "Kombinasi Pemodelan Optimasi Response Surface Methode Accelerated Particle Swarm Optimization (RSM-PSO) untuk Mengoptimalkan

- Hasil Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit”. *Skripsi*. Malang: Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, 2015.
- Ihwany, Achmad. “Implementasi *Particle Swarm Optimization* dan NPC Hunter untuk Pencarian NPC Hewan *Hunter of Forest*”. *Skripsi*. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi, 2018.
- Imani, Alamah Kamil Faqih. *Nurul Qur'an: An Enlightening Comentary into the Light of the Holy Qur'an* jilid XV. Terj. Arif Mulyadi dan Khalid Sitaba. Nurul Quran: sebuah Tafsir Sederhana Menuju Cahaya Al-Quran. Jakarta: Al-Huda, 2010.
- Indriyanti, Aris. “Tantangan Produksi Masal Biodiesel di Era Globalisasi”. *Prosiding Symbion* (2016): h. 287-300.
- Irawati, dkk., “Optimasi Epoksidasi Fatty Acid Methyl Esters (FAME) Berbasis Palm Olein sebagai Aditif Pemlastis Cat”. *Chemical Science* 8, no. 1 (2019): h. 34-41.
- Istikomah, dkk. “Implementasi Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk Optimasi Pemenuhan Kebutuhan Gizi Balita”. *Pengembangan Teknologi Informasi dan Komputer* 1, no. 11 (2017): h. 1321-1330.
- Juhari, dkk., “Pra Rancang Bangun Pabrik Biodiesel dari Biji Alpukat Menggunakan proses Transesterifikasi dengan Alat Utama Mixer”. *Teknik Sipil dan Teknik Kimia* 3, no. 1 (2019): h. 28-34.
- Koutsouki, dkk. “In situ transesterification of *Cynara cardunculus* L. seed oil via direct ultrasonication for the production of biodiesel”. *Fuel Processing Technology* 8 (2015): h. 1-8.
- Kumar, dkk. “Impact Analysis of Oxidation Stability for Biodiesel & its Blends”. *Elsevier*, no. 5 (2018): h. 19255–19261.
- Kurniawan, Muhammad dan Nanik Suciati. “Modifikasi Kombinasi Particle Swarm Optimization Dan Genetic Algorithm untuk Permasalahan Fungsi Non-Linear”. *Information Technology* 2, no. 2 (2017): h. 31-40.
- Kusmarna, Irfans. “Rancang Bangun Aplikasi Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)”. *Skripsi*. Pekanbaru: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sultan Syarif Kasim Riau, 2013.
- Laluce, dkk. “Optimization of Temperature Sugar Concentration and Inoculum Size to Maximize Ethanol Production Significant Decrease in Yeast Cell Viability”. *Microbiology and Biotechnology* (2009): h. 627-637.
- M Fuady, dkk. “Aplikasi Gis Berbasis J2ME Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) di Kabupaten Bangkalan”. *EEPIS*. (2011): h. 1-5.
- Nasir, dkk. “Pemanfaatan Ekstrak Biji Kelor (*Moringa oleifera*) untuk Pembuatan Bahan Bakar Nabati”. *Teknik Kimia* 3, no. 7 (2010): h. 29-34.
- Niju, dkk. “Optimization of Acid Ctalyzed Esterification and Mixed Metal Oxide Catalyzed Transesterification for Biodiesel Production from *Moringa Oleifera* oil” *Green Process Synt* no. 8, (2019): h. 756-775.

- Nilawati, Lala dan Yuni Eka Achyani. "Optimasi Metode Particle Swarm Optimization (PSO) pada Prediksi Penilaian Apartemen". *Informatika dan Komputer* 21, no. 2 (2019): h. 227-234.
- Oktavian, dkk. "Studi Performa Membran Hidrofobik Berbasis Silika Dalam Proses Pemurnian Biodiesel". *Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan* 3, no. 1 (2019): h. 20-24.
- Prastowo, Bambang. "Potensi Sektor Pertanian Sebagai Penghasil dan Pengguna Energi Terbarukan". *Perspektif* 6, no. 2 (2007): h. 84-92.
- Pratigto, dkk. "Karakterisasi Katalis CaO dan Uji Aktivitas pada Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai". *Metana* 15, no. 2 (2019): h. 57-64.
- Prihandana, Rama dan Roy Hendroko. *Energi Hijau*. Jakarta, Penebar Swadaya, 2008.
- Putri, dkk. "Optimasi Proses Pembuatan Biodiesel Biji Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* L.) melalui Proses Ekstraksi Reaktif". *Teknologi Kimia* 6, no. 2 (2017): h. 16-30.
- Rachim, dkk. "Modifikasi Katalis CaO untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Bekas". *Indo. J. Chem. Res* 5, no. 1 (2017): h. 47-52.
- Rahim, dkk. "Transesterifikasi *in Situ* Biji Kelor (*Moringa oleifera* Lam) Menggunakan Polimer Berbahan Dasar Eugenol sebagai Penyangga H₂SO₄". *Riset Kimia* 5, no.3 (2019): h. 263-270.
- Ramdhani, Lis Saumi. "Penerapan Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Seleksi Atribut dalam Meningkatkan Akurasi Prediksi Diagnosi Penyakit Hepatitis dengan Metode Algoritma C4.5". *Swabumi* 4, no. 1 (2016): h. 1-15.
- Ramirez, dkk. "Preparation of a Heterogeneous Catalyst from Moringa Leaves as a Sustainable Precursor for Biodiesel Production". *Fuel*, no. 284 (2021): 1-7.
- Rashid, dkk. "*Moringa oleifera* Oil: A Possible Source of Biodiesel". *Bioresource Technology*, no. 99 (2008): h. 8175-8179.
- Rashid, dkk. "Application of Response Surface Methodology for Optimizing Transesterification of *Moringa oleifera* oil: Biodiesel Production". *Energy Conversion and Management*, no. 52 (2011): h. 3034-3042.
- Sapruddin. "Penerapan Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Klasifikasi dan Analisis Kredit dengan Menggunakan Algoritma C4.5". *Informatika* 2, no. 4 (2017): h. 214-219.
- Sateria, dkk. "Penggunaan Metode Particle Swarm Optimization (PSO) pada Optimasi Multirespon Gaya Tekan dan Momen Torsi Penggurdian Material Komposit Glass Fiber Reinforce Polymer (GFRP) yang Ditumpuk dengan Material Stainless Steel (SS)". *Manutech* 10, no. 1 (2018): h. 1-7.
- Saqib, dkk. "Optimized Biodiesel Production and Enviromental Assesment of Produced Biodiesel". *Biotechnology and Bioprocess Engineering* (2012): h. 617-623.
- Setiawan, dkk., "Optimasi Pembatan Biodiesel dari Minyak Biji Jarak Kepyar (*Ricinus communis* L.) dengan Metode Ekstraksi Reaktif". *Teknologi Kimia Unimal* 6, no. 1 (2017): h. 45-54.

- Shammer, P. Mohamed dan K.Ramesh. "FTIR Assessment and Investigation of Synthetic Antioxidant on the Fuel stability of *Calophyllum inophyllum* Biodiesel". *Fuel*, no. 209 (2017): h. 411-416.
- Shihab, M. Quraish. *Tafsir Al Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an* Cet. I. Jakarta: Lentera Hati, 2002.
- Simsek, Suleyman dan Samet Uslu. "Determination of a Diesel Engine Operating Parameters Powered with Canola, Safflower and Waste Vegetables Oil Based Biodiesel Combination Using Response Surface Methodology (RSM)". *Fuel*, no. 270 (2020): h. 1-9.
- Singh, dkk. "Optimization of Diesel Engine Performance and Emission Parameters Employing Cassia tora Methyl Esters-Response Surface Methodology Approach". *Energy* (2018): h. 1-46.
- Syahir, Nizar dan Agrandy Fyadlon. "Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung Menggunakan *Microwave* dengan Proses *Ex Situ* dan *In Situ*". *Skripsi*. Surabaya: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- Tan, dkk. "Application of RSM and Taguchi Methods for Optimizing the Transesterification of Waste Cooking Oil Catalyzed by Solid Ostrich and Chicken-Eggshell Derived CaO". *Renewable Energy* (2017): h. 1-31.
- Trihaditia, dkk. "Penentuan Formulasi Optimum Pembuatan Cookies dari Bekatul Padi Pandanwangi dengan Penambahan Tepung Terigu Menggunakan Metode RSM (*Response Surface Method*)". *Agroscience* 8, no. 2 (2018): h. 212-230.
- Tuegeh, dkk. "Modified Improved Particle Swarm Optimization for Optimal Generator Scheduling". *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2009.
- Ulfayana, dkk. "Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis pada Tahap Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel dari Sawit *Off Grade*". *Fteknik* 1, no. 2 (2014): h. 1-12.
- Qu, dkk. "Preparation of Calcium Modified Zn-Ce/Al₂O₃ Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production through Transesterification of Palm Oil with Methanol Optimized by Response Surface Methodology". *Fuel*, no. 284 (2021): h. 1-13.
- Verma, dkk. "Prospects of Bio Based Alcohols for Karanja Biodiesel Production: An Optimisation Study by Response Surface Methodology". *Fuel*, no. 183 (2016): h. 185-194.
- Vural, Gulfer. "Renewable and non-renewable energy-growth nexus:Apanel data". *Elsevier* 65, no.101658 (2020): h. 1-7.
- Wang, dkk. "Diversity Enhanced Particle Swarm Optimization with Neighborhood Search". *Information Sciences*, no. 223 (2013): h. 119-135.
- Wendi, dkk. "Pengaruh Suhu Reaksi dan Jumlah Katalis pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Lemak Sapi dengan Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Kulit Telur Ayam". *Teknik Kimia* 4, no. 1 (2015): h. 35-41.
- Wicaksono, Iman Bagus dan Maria Ulfah. "Uji Aktivitas Antioksidan Kombinasi Ekstrak Etanol Daun Sirsak (*Annona Muricata* L.) dan Daun Jambu Biji

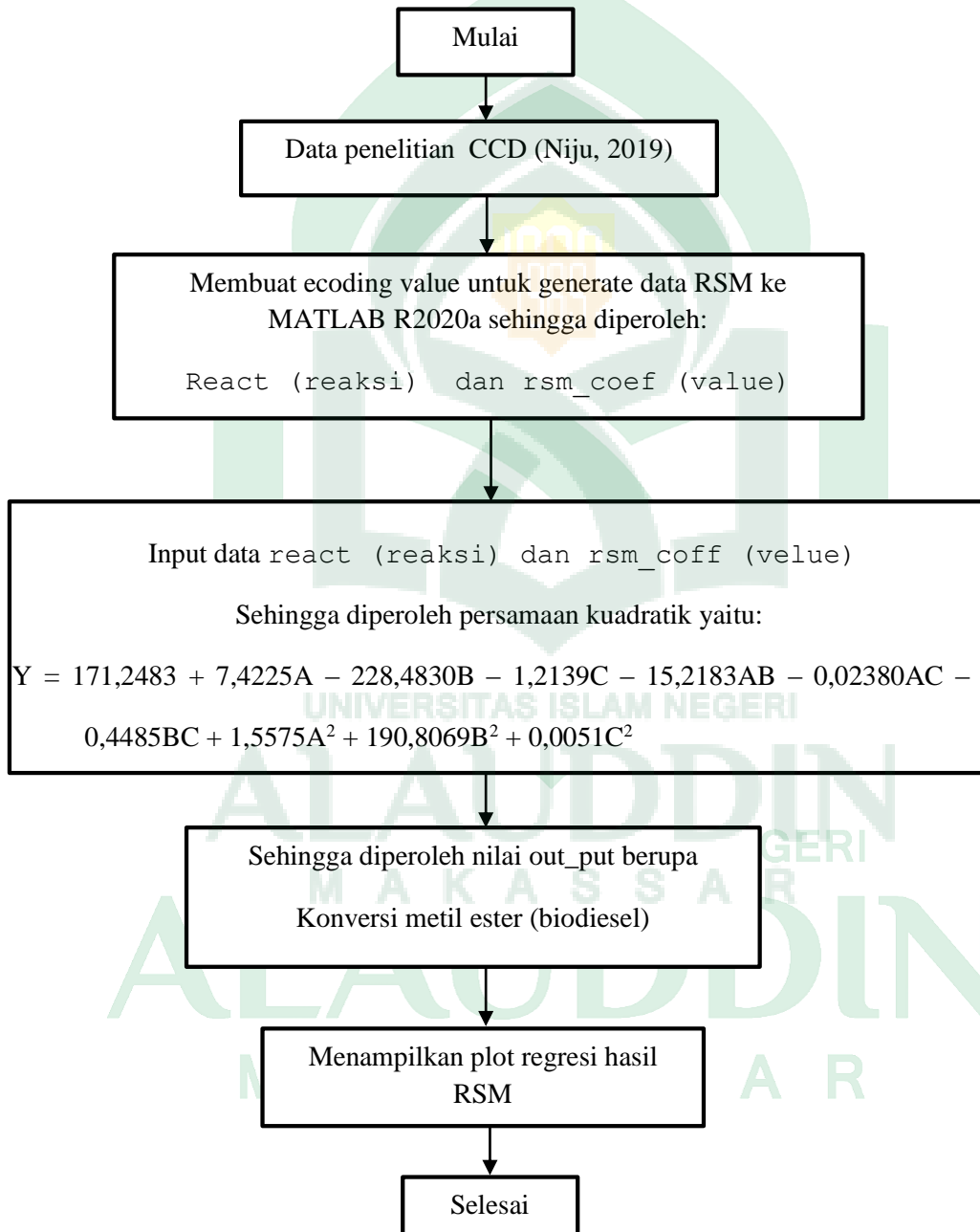
- (*Psidium Guajava* L.) dengan Metode DPPH (2,2-Difenil-1-Pikrilhidrazil)". *Inovasi Teknik Kimia* 2, no.1 (2017): h. 44-48.
- Widyanastuti, Nurul Azizah dan Bambang Susilo. "Studi Ekstraksi *Hydraulic Press* Minyak Biji Kelor (*Moringa oleifera*)". *Bioproses Komoditas Tropis* 1, no. 2 (2013): 48-55.
- Zerda, Evi Ria. "Analisis dan Penerapan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) pada Optimasi Penjadwalan Sumber Daya Proyek". *Skripsi*. Bandung: Departemen Teknik Informatika Institut Teknologi Telkom, 2009.
- Zhang, dkk. "Biodiesel Production from Palm Oil and Methanol Via Zeolite Derived Catalyst as aPhase Boundary Catalyst: An Optimization Study by Using Response Surface Methodology". *Fuel*, no. 272 (2020): h. 1-10.
- Zhao, dkk. "Experimental Investigation on Biodiesel Production through Transesterification Promoted by the La-dolomite Catalyst". *Fuel*, no. 257 (2019): h. 1-9.
- Zhou, dkk. "Continuous production of biodiesel from soybean flakes by extractioncoupling with transesterification under supercritical conditions: Original research article". *Supercritical Fluids* 8 (2017): h. 1-8.



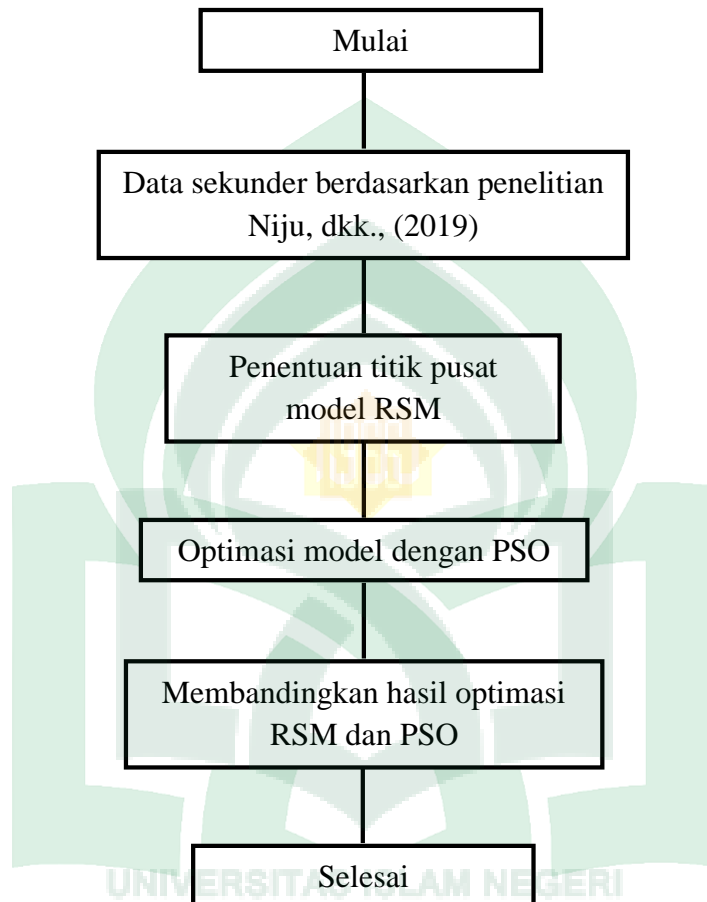
LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur Penelitian

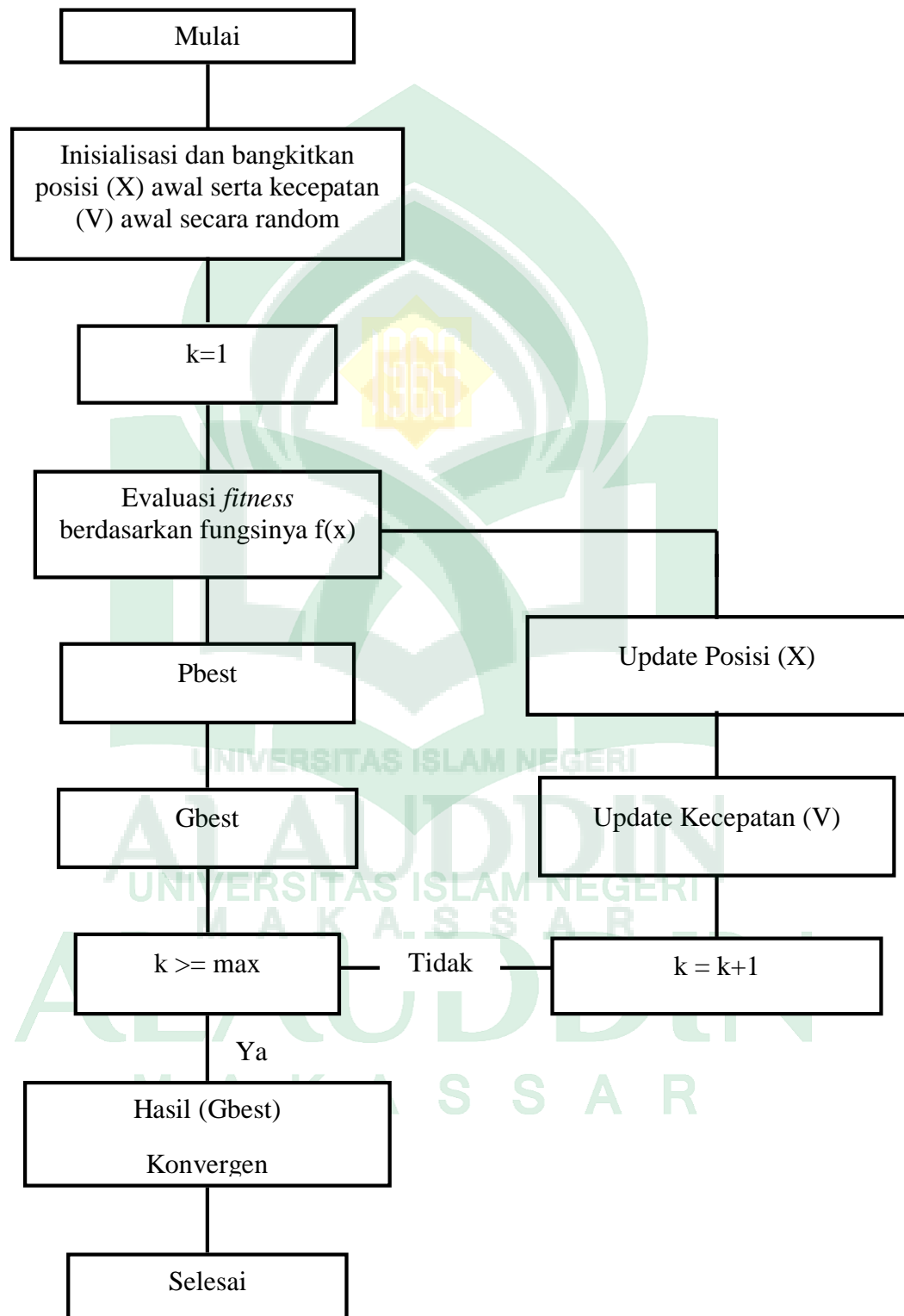
1.1 Optimasi RSM dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



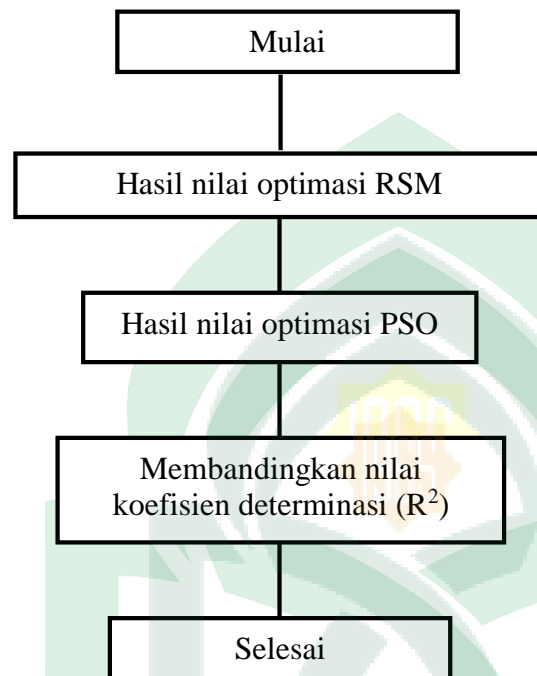
1.2 Diagram Alir Penelitian Secara Keseluruhan



1.3 Diagram Alir Optimasi Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)



1.4 Diagram Alir Perbandingan Optimasi RSM dan PSO



Lampiran 2. Data Sekunder Penelitian Niju, dkk

Table 2: Range and levels of independent variables used for CuO-CaO based transesterification process.

Variables	Symbols	Units	Variable levels				
			-α	-1	0	+1	+α
CuO-CaO concentration	A	wt%	1.32	2	3	4	4.68
Methanol to esterified oil ratio	B	(vol/vol)	0.16:1	0.3:1	0.5:1	0.7:1	0.84:1
Reaction time	C	min	69.55	90	120	150	170.45

Lampiran 3. Analisis Data Konversi Biodiesel

RSM

1. 2 % 0,3 vol/vol 90 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 2 + (-228,483) * 0,3 + (-1,21391) * 90 + (-15,2483) * 0,3 + (-0,02379) * 2 * 90 + 0,448542 * 0,3 * 90 + 1,557506 * 2^2 + 190,8069 * (0,3)^2 + 0,005119 * 90^2 = 71,822787 \%$$

2. 2 % 0,3 vol/vol 150 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 2 + (-228,483) * 0,3 + (-1,21391) * 150 + (-15,2483) * 0,3 + (-0,02379) * 2 * 150 + 0,448542 * 0,3 * 150 + 1,557506 * 2^2 + 190,8069 * (0,3)^2 + 0,005119 * 150^2 = 77,9208 \%$$

3. 2 % 0,7 vol/vol 90 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 2 + (-228,483) * 0,7 + (-1,21391) * 90 + (-15,2483) * 0,7 + (-0,02379) * 2 * 90 + 0,448542 * 0,7 * 150 + 1,557506 * 2^2 + 190,8069 * (0,7)^2 + 0,005119 * 90^2 = 60,67488 \%$$

4. 2 % 0,7 vol/vol 150 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 2 + (-228,483) * 0,7 + (-1,21391) * 150 + (-15,2483) * 0,7 + (-0,02379) * 2 * 150 + 0,448542 * 0,7 * 150 + 1,557506 * 2^2 + 190,8069 * (0,7)^2 + 0,005119 * 150^2 = 77,53786 \%$$

5. 4 % 0,3 vol/vol 90 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 4 + (-228,483) * 0,3 + (-1,21391) * 90 + (-15,2483) * 0,3 + (-0,02379) * 4 * 90 + 0,448542 * 0,3 * 90 + 1,557506 * 4^2 + 190,8069 * (0,3)^2 + 0,005119 * 90^2 = 91,90673 \%$$

6. 4 % 0,3 vol/vol 150 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 4 + (-228,483) * 0,3 + (-1,21391) * 150 + (-15,2483) * 0,3 + (-0,02379) * 4 * 150 + 0,448542 * 0,3 * 150 + 1,557506 * 4^2 + 190,8069 * (0,3)^2 + 0,005119 * 150^2 = 95,14972 \%$$

7. 4 % 0,7 vol/vol 90 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 4 + (-228,483) * 0,7 + (-1,21391) * 90 + (-15,2483) * 0,7 + (-0,02379) * 4 * 90 + 0,448542 * 0,7 * 90 + 1,557506 * 4^2 + 190,8069 * (0,7)^2 + 0,005119 * 90^2 = 68,53379 \%$$

8. 4 % 0,7 vol/vol 150 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 4 + (-228,483) * 0,7 + (-1,21391) * 150 + (-15,2483) * 0,7 + (-0,02379) * 4 * 150 + 0,448542 * 0,7 * 150 + 1,557506 * 4^2 + 190,8069 * (0,7)^2 + 0,005119 * 150^2 = 82,54178 \%$$

9. 1,32% 0,5 vol/vol 120 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 1,32 + (-228,483) * 0,5 + (-1,21391) * 120 + (-15,2483) * 0,5 + (-0,02379) * 1,32 * 120 + 0,448542 * 0,5 * 120 + 1,557506 * 1,32^2 + 190,8069 * (0,5)^2 + 0,005119 * 120^2 = 58,32318 \%$$

10. 4,68% 0,5 vol/vol 120 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 4,68 + (-228,483) * 0,5 + (-1,21391) * 120 + (-15,2483) * 0,5 + (-0,02379) * 4,68 * 120 + 0,448542 * 0,5 * 120 + 1,557506 * 4,68^2 + 190,8069 * (0,5)^2 + 0,005119 * 120^2 = 79,39695 \%$$

11. 3% 0,16 vol/vol 120 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 3 + (-228,483) * 0,16 + (-1,21391) * 120 + (-15,2483) * 0,16 + (-0,02379) * 3 * 120 + 0,448542 * 0,16 * 120 + 1,557506 * 3^2 + 190,8069 * (0,16)^2 + 0,005119 * 120^2 = 96,61769 \%$$

12. 3% 0,84 vol/vol 120 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 3 + (-228,483) * 0,84 + (-1,21391) * 120 + (-15,2483) * 0,84 + (-0,02379) * 3 * 120 + 0,448542 * 0,84 * 120 + 1,557506 * 3^2 + 190,8069 * (0,84)^2 + 0,005119 * 120^2 = 76,42519 \%$$

13. 3% 0,5 vol/vol 69,55 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 3 + (-228,483) * 0,5 + (-1,21391) * 69,55 + (-15,2483) * 0,5 + (-0,02379) * 3 * 69,55 + 0,448542 * 0,5 * 69,55 + 1,557506 * 3^2 + 190,8069 * (0,5)^2 + 0,005119 * 69,55^2 = 69,04018 \%$$

M A K A S S A R

14. 3% 0,5 vol/vol 170,45 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 3 + (-228,483) * 0,5 + (-1,21391) * 170,45 + (-15,2483) * 0,5 + (-0,02379) * 3 * 170,45 + 0,448542 * 0,5 * 170,45 + 1,557506 * 3^2 + 190,8069 * (0,5)^2 + 0,005119 * 170,45^2 = 85,94595 \%$$

15. 3% 0,5 vol/vol 120 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 3 + (-228,483) * 0,5 + (-1,21391) * 120 + (-15,2483) * 0,5 + (-0,02379) * 3 * 120 + 0,448542 * 0,5 * 120 + 1,557506 * 3^2 + 190,8069 * (0,5)^2 + 0,005119 * 120^2 = 64,46416 \%$$

16. 3% 0,5 vol/vol 120 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 3 + (-228,483) * 0,5 + (-1,21391) * 120 + (-15,2483) * 0,5 + (-0,02379) * 3 * 120 + 0,448542 * 0,5 * 120 + 1,557506 * 3^2 + 190,8069 * (0,5)^2 + 0,005119 * 120^2 = 64,46416 \%$$

17. 3% 0,5 vol/vol 120 menit

$$Y = 171,2483 + 7,422544 * 3 + (-228,483) * 0,5 + (-1,21391) * 120 + (-15,2483) * 0,5 + (-0,02379) * 3 * 120 + 0,448542 * 0,5 * 120 + 1,557506 * 3^2 + 190,8069 * (0,5)^2 + 0,005119 * 120^2 = 64,46416 \%$$

Lampiran 4. Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)

4.1 Skrip (M-file/ Sintaks) Lengkap PSO Matlab R2015a

```
clc;
clear;
close all;

% parameter PSO
N = 10;           %jumlah partikel
D = 3;           %dimensi partikel
Amin = 1.32;      %nilai minimum konsentrasi katalis
Amax = 4.68;      %nilai maximum konsentrasi katalis
Bmin = 0.16;      %nilai minimum rasio volumetrik metanol:minyak
Bmax = 0.84;      %nilai maximum rasio volumetrik metanol:minyak
Cmin = 69.55;     %nilai minimum waktu reaksi
Cmax = 170.45;    %nilai maximum waktu reaksi
c1 = 1;           %coognitive learning
c2 = 1;           %sosial learning
kmax = 500;       %jumlah itersi maksimum
Wmax = 0.9;       %nilai maximum bobot inersia
Wmin = 0.4;       %nilai minimum bobot inersia
% W=0.1;

%% Inisialisasi Posisi Partikel secara Random
for i=1:N
    X(i,1)= Amin+rand()*(Amax-Amin);
    X(i,2)= Bmin+rand()*(Bmax-Bmin);
    X(i,3)= Cmin+rand()*(Cmax-Cmin); %membangkitkan posisi awal
                                     partikel
end
X;
V=zeros(N,D); %membangkitkan kecepatan awal partikel
Pbest=X;

%% Iterasi Awal
k=1;
while k<=kmax %memulai iterasi awal

%% Update Posisi (X)
X= X+V;
for i=1:N
    if X(i,1)>Amax
        X(i,1)=Amax;
        X(i,2)=X(i,2);
        X(i,3)=X(i,3);
    elseif X(i,1)<Amin
        X(i,1)=Amin;
        X(i,2)=X(i,2);
        X(i,3)=X(i,3);
    elseif X(i,2)>Bmax
        X(i,2)=Bmax;
        X(i,1)=X(i,1);
```

```

        X(i,3)=X(i,3);
    elseif X(i,2)<Bmin
        X(i,2)=Bmin;
        X(i,1)=X(i,1);
        X(i,3)=X(i,3);
    elseif X(i,3)>Cmax
        X(i,3)=Cmax;
        X(i,1)=X(i,1);
        X(i,2)=X(i,2);
    elseif X(i,3)<Cmin
        X(i,3)=Cmin;
        X(i,1)=X(i,1);
        X(i,2)=X(i,2); %update posisi yang dibatasi sesuai variabel
    end
end

%% Evaluasi Fitness
for i=1:N
    Y(i,1)=171.2483+7.4225*X(i,1)-228.4830*X(i,2)-1.2139*X(i,3) ...
        -15.2813*X(i,1)*X(i,2)-
    0.0238*X(i,1)*X(i,3)+0.4485*X(i,2)*X(i,3) ...
        +1.5575*X(i,1)^2+190.8069*X(i,2)^2+0.0051*X(i,3)^2;
end
Y; %evaluasi fitness sesuai fungsi objektif pada persamaan 2.5

%% Personal Best
if k==1
    Pbest=X;
    fPbest=Y;
else
    for i= 1:N
        if Y(i)>fPbest(i)
            Pbest(i)=X(i);
            fPbest(i)=Y(i); %Penentuan Pbest pada suatu partikel
        end
    end
end

%% Global Best
[fGbest,Partikel]=max(fPbest);
Gbest2=Pbest(Partikel,:);
for i=1:N
    Gbest(i,:)= Gbest2; %penentuan Gbest berdasarkan nilai Pbest
                        yang paling baik
end

```

```

%% Visualisasi
hold on
plot(k,fGbest,'m*')
title('Plot PSO Data ke-')
xlabel('iterasi ke-')
ylabel('nilai X')
pause (0.01)

%% Iterasi
if k < kmax
    k=k+1; %iterasi selanjutnya
else
    break
end

%% Bobot Inersia
W = Wmax - ((Wmax-Wmin)/kmax)*k;

%% Update Kecepatan (V)
V=(W*V)+(c1*rand())*(Pbest-X)+(c2*rand())*(Gbest-X);
end
V;

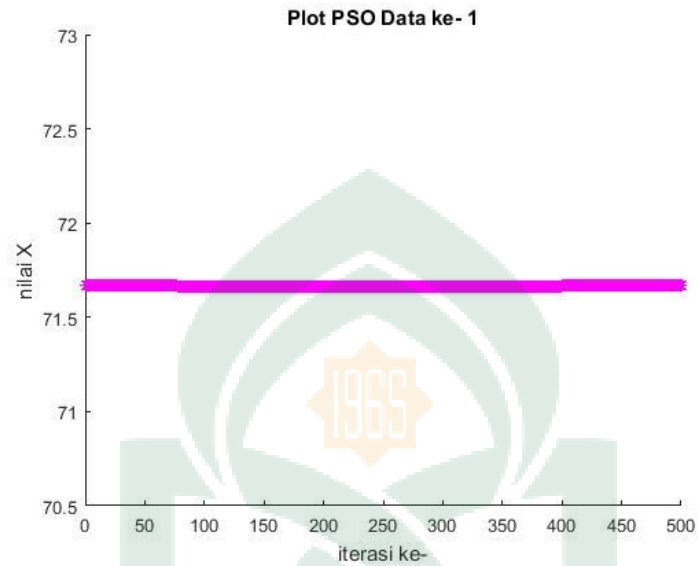
fGbest
Hasil_Akhir=Pbest(Partikel,:)

```



4.2 Hasil Run Skript (M-file/ Sintaks) PSO Matlab R2015a

a) Data ke-1



Pbest =

2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000
2.0000	0.3000	90.0000

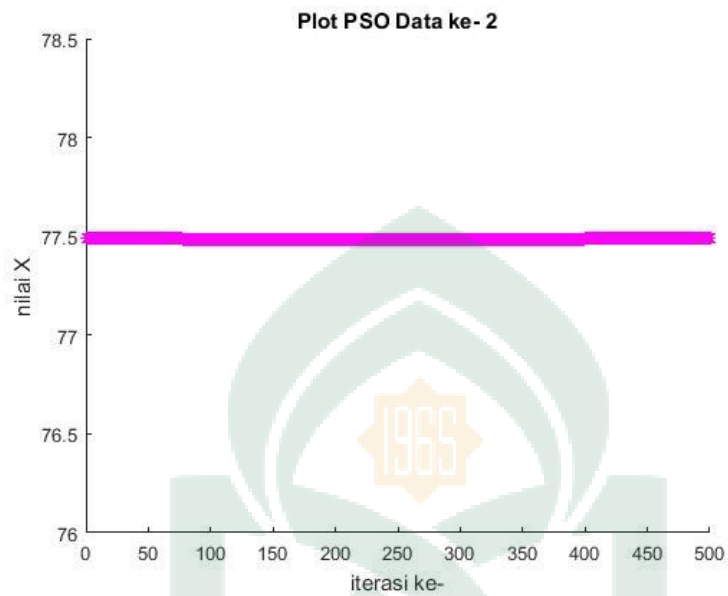
fGbest =

71.6667

Hasil_Akhir =

2.0000	0.3000	90.0000
--------	--------	---------

b) Data ke-2



Pbest =

2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000
2.0000	0.3000	150.0000

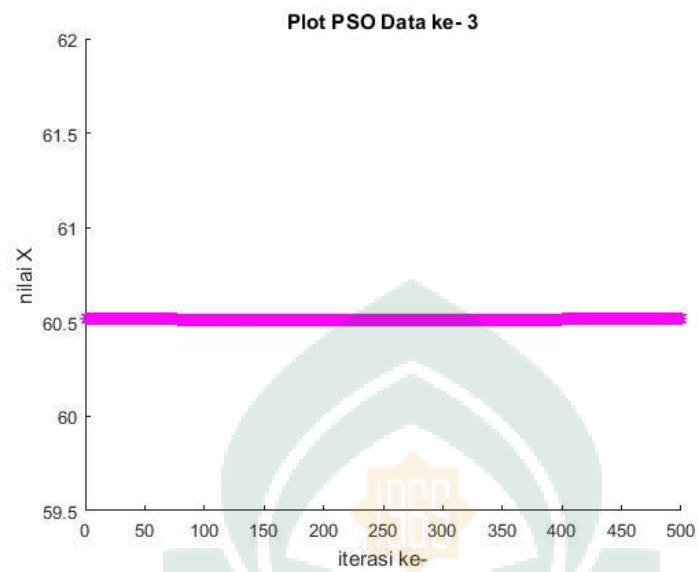
fGbest =

77.4897

Hasil_Akhir =

1.00 0.3000 150.0000

c) Data ke-3



Pbest =

2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000
2.0000	0.7000	90.0000

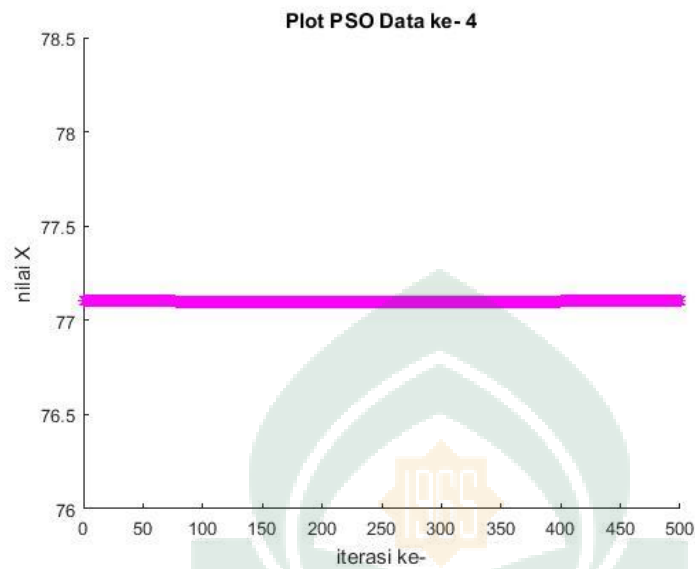
fGbest =

60.5173

Hasil_Akhir =

2.0000	0.7000	90.0000
--------	--------	---------

d) Data ke-4



Pbest =

2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000
2.0000	0.7000	150.0000

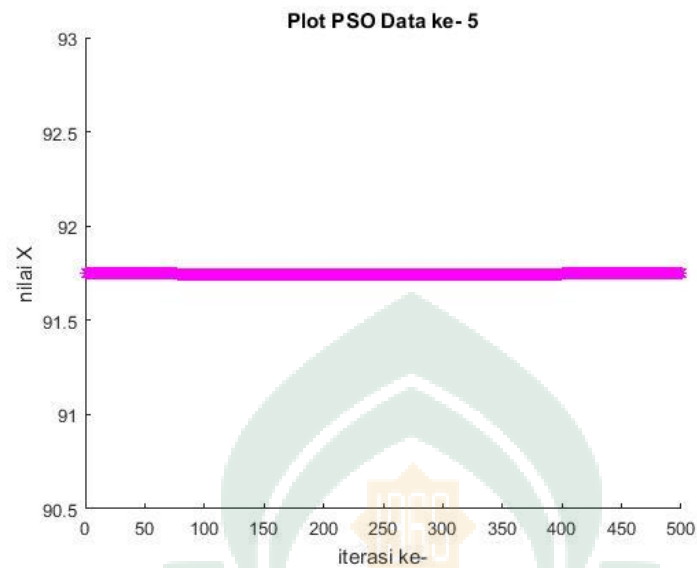
fGbest =

77.1043

Hasil_Akhir =

2.0000	0.7000	150.0000
--------	--------	----------

e) Data ke-5



Pbest =

4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000
4.0000	0.3000	90.0000

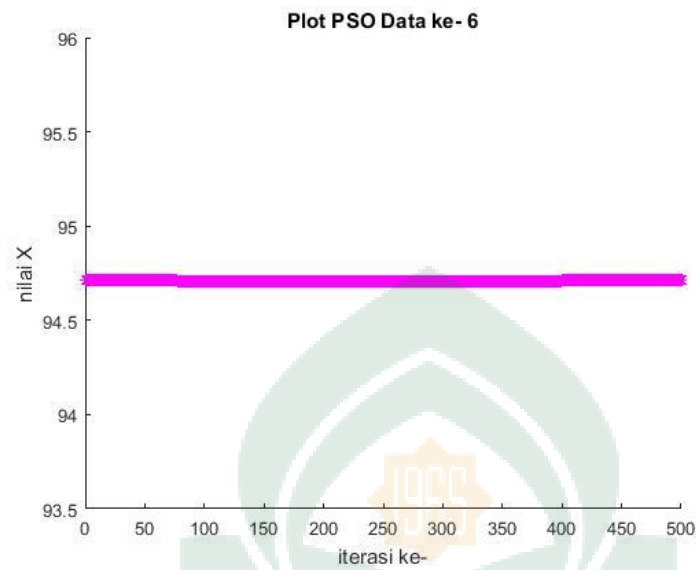
fGbest =

91.7490

Hasil_Akhir =

4.0000	0.3000	90.0000
--------	--------	---------

f) Data ke-6



Pbest =

4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000
4.0000	0.3000	150.0000

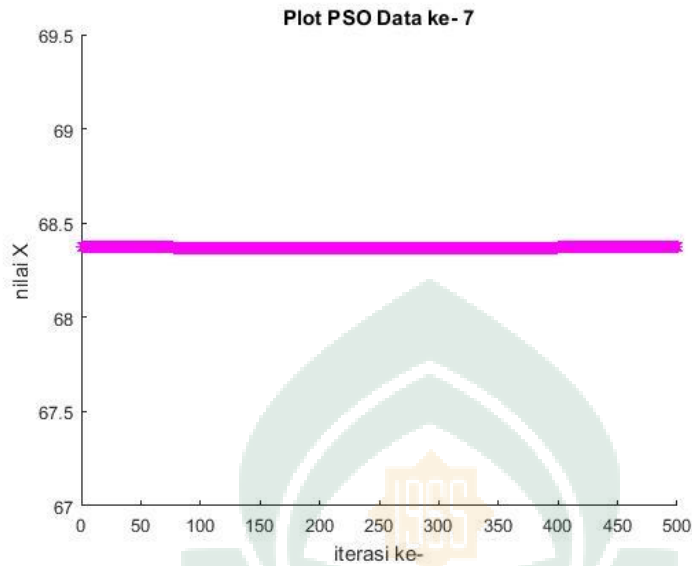
fGbest =

94.7160

Hasil_Akhir =

4.0000	0.3000	150.0000
--------	--------	----------

g) Data ke-7



Pbest =

4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000
4.0000	0.7000	90.0000

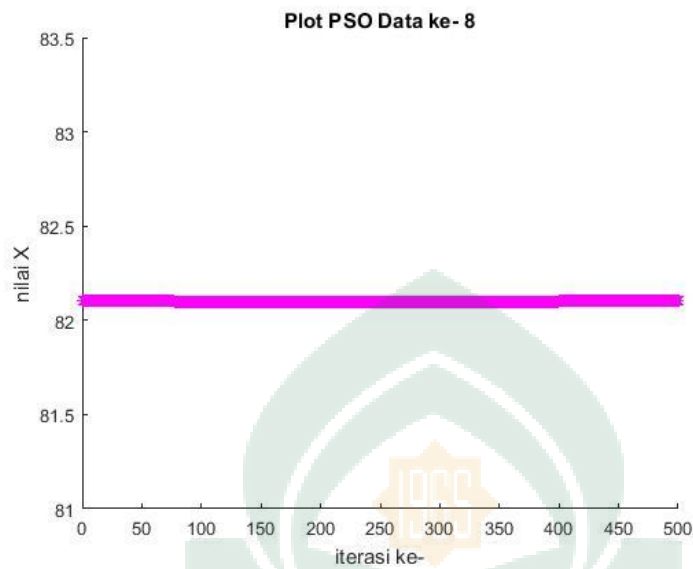
fGbest =

68.3744

Hasil_Akhir =

4.0000	0.7000	90.000
--------	--------	--------

h) Data ke-8



Pbest =

4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000
4.0000	0.7000	150.0000

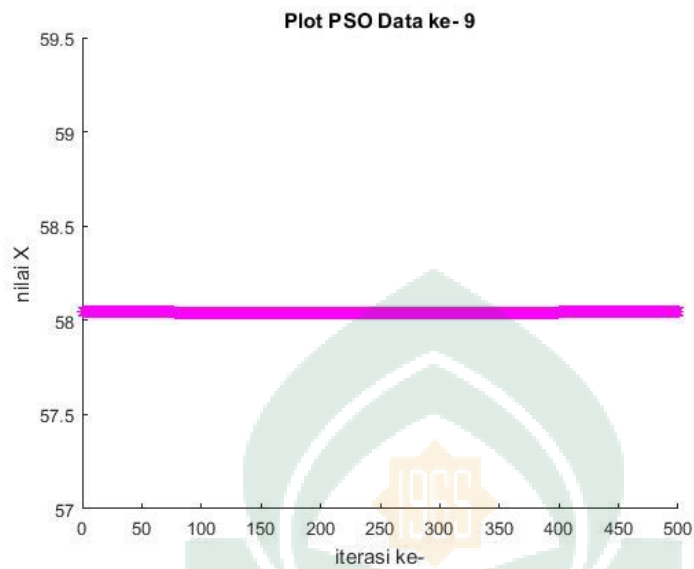
fGbest =

82.1054

Hasil_Akhir =

4.00	0.7000	150.0000
------	--------	----------

i) Data ke-9



Pbest =

1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000
1.3200	0.5000	120.0000

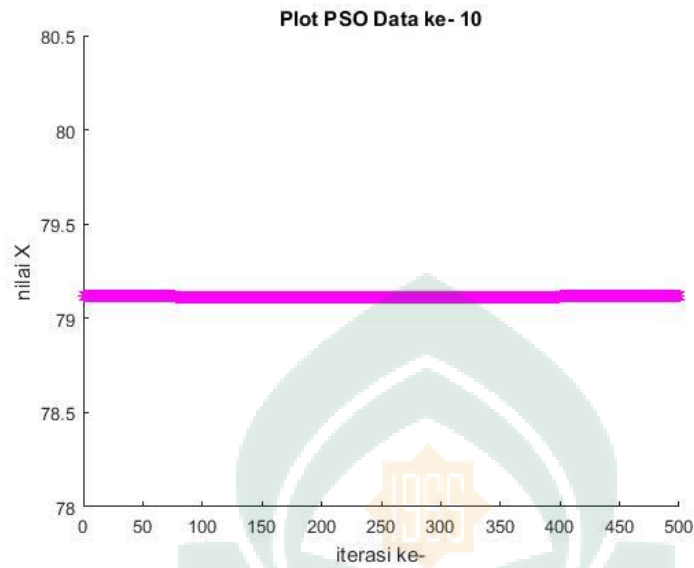
fGbest =

58.0464

Hasil_Akhir =

a. 0.5000 120.0000

j) Data ke-10



Pbest =

4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000
4.6800	0.5000	120.0000

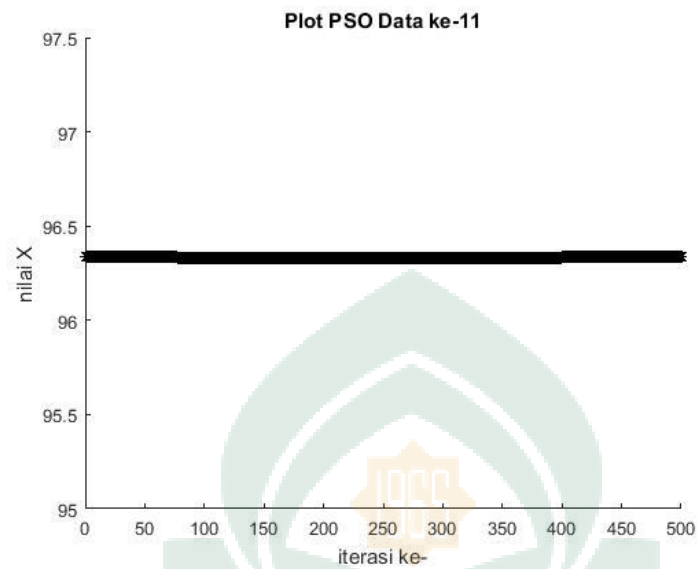
fGbest =

79.1165

Hasil_Akhir =

4.6800 0.5000 120.0000

k) Data ke-11



Pbest =

3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000
3.0000	0.1600	120.0000

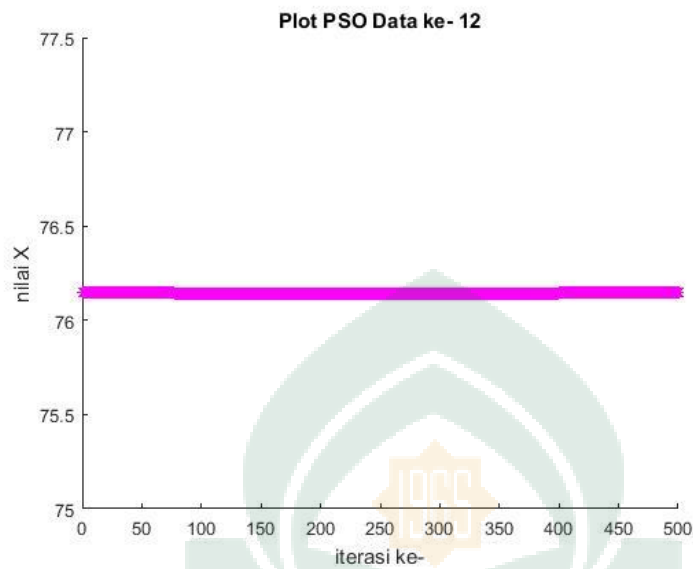
fGbest =

96.3409

Hasil_Akhir =

3.0000	0.1600	120.0000
--------	--------	----------

1) Data ke-12



Pbest =

3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000
3.0000	0.8400	120.0000

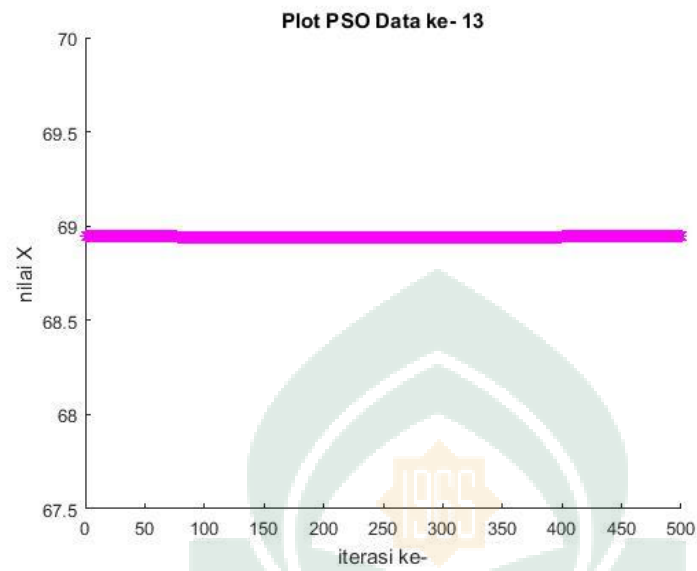
fGbest =

76.1449

Hasil_Akhir =

3.0000	0.8400	120.0000
--------	--------	----------

m) Data ke-13



Pbest =

3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500
3.0000	0.5000	69.5500

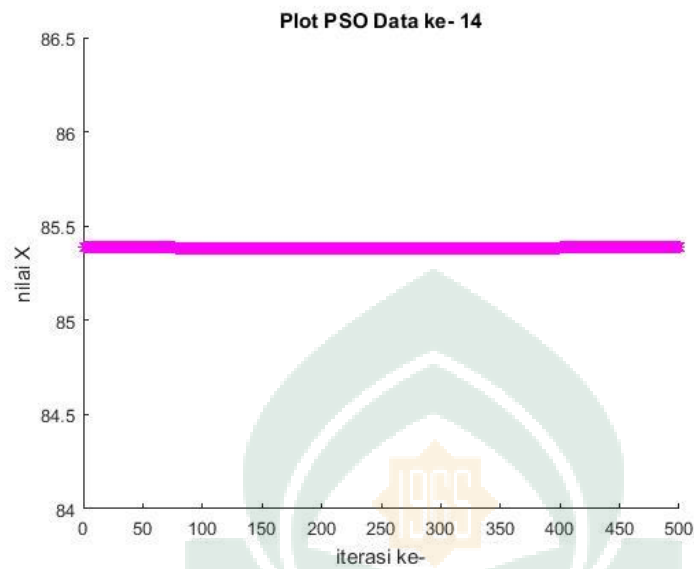
fGbest =

68.9453

Hasil_Akhir =

3.0000	0.5000	69.5500
--------	--------	---------

n) Data ke-14



Pbest =

3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500
3.0000	0.5000	174.4500

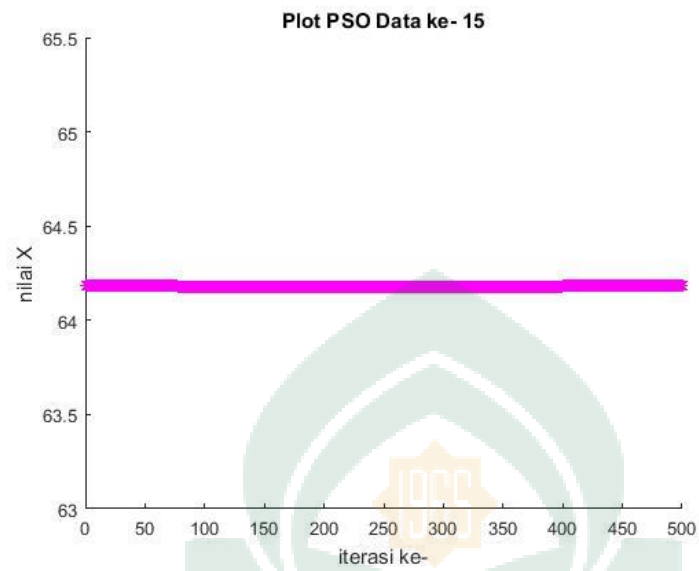
fGbest =

85.3869

Hasil_Akhir =

3.0000	0.5000	170.4500
--------	--------	----------

o) Data ke-15



Pbest =

3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000
3.0000	0.5000	120.0000

fGbest =

64.1856

Hasil_Akhir =

3.0000	0.5000	120.0000
--------	--------	----------

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Kartika Fatimah atau biasa dipanggil Tika kelahiran Ujung Pandang, 06 Februari 1999. Menempuh pendidikan SMA di SMA Negeri 3 Makassar. Anak terakhir dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Kamargono dan Ibu Christina Padidi Tombilangi. Pada tahun 2005 menempuh taman kanak-kanak Ummu Aiman, pada tahun 2006-2011 menempuh pendidikan di SD Inpres Hartaco Indah. Pada tahun 2011-2014 menempuh pendidikan di SMP Negeri 18 Makassar dan kemudian melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 3 Makassar. Setelah tamat dari sekolah menengah atas melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi yaitu dengan kuliah di Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar jurusan Kimia Sains. Selama berkuliah pengalaman organisasi menjadi pengurus himpunan mahasiswa selama 2 periode yaitu dari tahun 2019-2020 dan menjadi salah satu koordinator himpunan.

